



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"Simulación de procesos estocásticos
en la
Ingeniería Industrial"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A:

CARLOS ADRIÁN URIBE VIVIAN

DIRECTOR DE TESIS
M. en I. VÍCTOR HUGO JACOBO ARMENDÁRIZ

FACULTAD DE
INGENIERIA



U N A M

CD. Universitaria, 2002

TESIS CON
FALSA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.

A mi madre, la Sra. Leonor Vivian Zepeda, por su infinito amor y lucha incansable para lograr que sea un hombre de bien.

A mis hermanos, Silvia y Alejandro, por apoyarme y alentarme a siempre seguir, y lograr mis objetivos.

Al Sr. Enrique, por su apoyo incondicional y sus consejos.

A mi familia y amigos, por su apoyo y ayuda para terminar mis estudios.

Al M. en I. Víctor Hugo, por su guía y consejos para el desarrollo de la presente tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Simulación de procesos
estocásticos en la
Ingeniería Industrial”**

FACULTAD DE
INGENIERÍA



U N A M

Prólogo.

Con el surgimiento de la computadora digital a principios de la década de los 50's, se han desarrollado una gran cantidad de herramientas analíticas que han tenido un profundo impacto en el campo científico. Una de esas herramientas es la simulación, cuyos usos y aplicaciones se han extendido significativamente en los últimos años. Es muy común encontrar aplicaciones de simulación en áreas tales como: Economía, Finanzas, Sistemas de inventarios, Análisis y evaluación de inversiones, Sistemas de colas, etc. Es necesario señalar que este trabajo sólo se enfoca a la simulación de sistemas estocásticos.

Para el análisis de sistemas estocásticos, se tienen dos caminos. El primero es utilizar lenguajes de propósito general como Fortran; con los que se tiene la desventaja de que para simular un sistema se requiere tener un conocimiento y un dominio muy grande del lenguaje. El segundo es usar un lenguaje de propósito especial (paquetes de simulación); con los que se tiene la ventaja de que están orientados a la simulación de procesos estocásticos; como ejemplo de estos paquetes se tiene el SIMNET, GPSS, SIMSCRIPT, SLAM, SIMAN, ARENA.

El contenido del presente trabajo esta enfocado a identificar las áreas de oportunidad para aplicar simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial, mostrando mediante casos prácticos las ventajas de su aplicación. Con el fin de formar conciencia de que es necesario proporcionar una buena educación, sobre esta herramienta de análisis, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial; ya que se ha observado que el tiempo y la forma en la que se enseña no son los adecuados para transmitir un buen nivel de conocimientos. El trabajo se encuentra organizado de la siguiente forma:

- ❖ El capítulo 1 muestra las definiciones más aceptadas sobre simulación, la importancia que tiene esta herramienta, sus ventajas, las etapas para realizar un estudio de simulación, así como la problemática de aplicar esta herramienta.
- ❖ El capítulo 2 muestra las áreas en las que se ha aplicado la simulación, así como la concepción de nuevas aplicaciones dentro de la Ingeniería Industrial, ofrece también la comparación entre la forma de analizar sistemas por medio de los métodos enseñados durante la carrera de Ingeniería Industrial y la técnica de simulación.
- ❖ El capítulo 3 contiene una serie de ejemplos que muestran el auge que ha tomado la simulación en la solución de problemas en la industria y el sector servicios.
- ❖ El capítulo 4 contiene la descripción de los lenguajes de simulación más importantes, tales como el SIMNET, GPSS, SIMSCRIPT, SLAM, SIMAN y el ARENA; además contiene una tabla de decisión con la que se selecciona el lenguaje más idóneo para ser utilizado de manera pedagógica y con el objetivo de tomarlo de base para desarrollar una serie de modelos dentro del laboratorio de simulación.

- ❖ El capítulo 5 muestra la forma de dar de alta los modelos de simulación mediante un modelo básico, en el lenguaje de simulación seleccionado en el capítulo anterior. También contiene una serie de modelos propuestos para ser analizados por medio de la simulación, con los que se tocan los siguientes sistemas: líneas de espera, balanceo de líneas, sistemas de inventarios, red logística, proyecto de inversión, sistema de manufactura, pronósticos y control de calidad.

Es importante recalcar que en todo momento el trabajo se referirá a la simulación de sistemas estocásticos aunque no se señale explícitamente, por lo que su contenido no se debe extender a la simulación en general.

El contenido de este trabajo fue inspirado en el deseo de incrementar la preparación de los ingenieros industriales; de la Facultad de Ingeniería de la UNAM; ya que se considera que la técnica de simulación no se ha aplicado en todo su potencial, lo que puede llegar a ser una desventaja en la eficiencia de la toma de decisiones; principalmente porque el auge que ha tomado esa herramienta, en las últimas décadas, es muy significativo.

Carlos Adrián Uribe Vivian.

Índice.

Prólogo	II
Capítulo 1. Simulación de- procesos estocásticos	
1.1 Introducción	1
1.2 Conceptos teóricos	2
1.3 Importancia de la simulación	4
1.4 Etapas del proceso	6
1.5 Problemática de la aplicación	8
Capítulo 2. Aplicación tradicional de simulación en Ingeniería Industrial	
2.1 Simulación en Ingeniería Industrial	10
2.2 Potencial de aplicación de la simulación en la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería, UNAM	14
Capítulo 3. Simulación en la industria y en el sector servicios	
3.1 Introducción	21
3.2 Simulación de bolsa de valores	21
3.3 Simulación de mercados	22
3.4 Simulación en la industria automotriz	23
3.5 Simulación de células de montaje	24
3.6 Simulación en otros campos	24
Capítulo 4. Análisis de los lenguajes de simulación	
4.1 Introducción	27
4.2 Lenguaje SIMNET	28
4.3 Lenguaje GPSS	28
4.4 Lenguaje SIMSCRIPT	29
4.5 Lenguaje SLAM	29
4.6 Lenguaje SIMAN	30
4.7 Lenguaje ARENA	31
4.8 Selección de un lenguaje de simulación	32
Capítulo 5. Propuesta de modelos de simulación	
5.1 Introducción	36
5.2 Operación del sistema ARENA	38
5.3 Modelo de líneas de espera	54
5.4 Modelo de balanceo de líneas	60
5.5 Modelo de sistemas de inventarios	65
5.6 Modelo de red logística	71
5.7 Modelo de un proceso de manufactura	75
5.8 Modelo de un proyecto de inversión	80
5.9 Modelo de control de calidad	86
5.10 Modelo de pronósticos	91

Conclusiones y recomendaciones

97

Referencias bibliográficas

99

1.1 Introducción.

Para tener más éxito en las decisiones que se toman, es necesario evaluar correctamente las alternativas que se tienen, por lo que se debe contar con técnicas confiables de evaluación y que mejor manera de decidir que teniendo un sistema en el que se puedan modificar sus condiciones y estimar lo que sucedería con el sistema en estudio.

La manera de lograr lo antes descrito es utilizar la técnica de simulación; ya que además de estimar un futuro con la confianza de que la incertidumbre es baja, se puede observar el comportamiento del sistema al realizar el análisis de sensibilidad ya que la manera de construir el modelo de simulación puede ser con expresiones matemáticas, símbolos o expresiones lógicas; lo que nos permite tener una animación de lo que se puede tener a futuro en nuestro caso en estudio.

Es notoria la importancia que esta tomando la simulación, como elemento de toma de decisiones en las empresas y ramas de aplicación de la Ingeniería Industrial; éste hecho se puede constatar al ver la manera en que las industrias de transformación y de servicios programan los cambios en equipo, distribución de planta, rutas de trabajo, inventarios, políticas, localizaciones de la planta, etc.; por eso se tiene la necesidad de que los estudiantes de Ingeniería Industrial tengan un buen nivel de conocimientos sobre esta herramienta y el tiempo que se dedica a este tema; en la materia de Investigación de Operaciones II; no es suficiente para lograr este objetivo y además en ningún otra materia se imparte algún tema similar (la simulación provee de ciertas ventajas sobre la mayoría de las técnicas y herramientas de toma de decisión que se enseñan en las materias contenidas en el plan de estudios), por lo que se considera que sería bueno tener más tiempo disponible para la técnica de simulación; con el fin de comprender bien el potencial de esta herramienta y conocer su manejo básico; llegando a tener una buena herramienta, que esta tomando un gran auge en el control de sistemas y que puede tener una perspectiva importante en el curso de acción profesional como Ingenieros.

1.2 Conceptos teóricos.

El término simulación surge en 1940 cuando, por la presión de la 2ª guerra mundial, los científicos Von Neuman y Ulam al trabajar en el proyecto Monte Carlo buscaron un camino alternativo para resolver problemas de reacciones nucleares, ya que la solución experimental resultaba tener un costo muy alto y el análisis matemático resultaba ser demasiado complicado. Tal camino consistió en que por medio del estudio de proyectos previamente desarrollados, de sus resultados y de asignar cierta probabilidad de ocurrencia a cada caso; tomando en cuenta las causas que provocaban cada uno de esos casos; pudieran saber que método de elaboración de reacciones nucleares resultaba ser más favorable.

Es conveniente mostrar las definiciones más aceptadas sobre simulación, en primer lugar Thomas H. Naylor define simulación como "una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo".

En sentido más estricto H. Maisel y G. Gnugnoli definen simulación como "una técnica para realizar experimentos en una computadora. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo".

La definición más reconocida de los estudiosos del tema es la propuesta por Robert E. Shannon, que dice "simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema".

Para una mejor comprensión de este tema se recomienda tomar a la simulación como el imitar las operaciones de procesos de un mundo real o sistema a través del tiempo involucrando la generación de una historia artificial de un sistema y con la observación de esa historia artificial poder hacer inferencias sobre las características de operación de un sistema real. La conducta del sistema en estudio es traducida a un modelo de simulación, el cual puede estar formado por expresiones matemáticas, lógicas y/o relaciones simbólicas entre las entidades y objetos de interés, del sistema. El modelado de simulación debe ser usado como una herramienta de análisis para predecir el efecto de los cambios existentes en el sistema y para producir proyectos de elaboración de nuevos sistemas variando las circunstancias existentes.

Para poder obtener buenos resultados se debe asegurar que el modelo de simulación sea una precisa réplica del sistema; para eso se tienen varios caminos, los cuales se diferencian en la estructura del modelo y no en el comportamiento

del sistema real representado. Dichos caminos se presentan en la siguiente clasificación:

- **Modelos icónicos.** Este modelo en algún sentido es el que mejor se semeja al sistema real. Es el que primordialmente se utiliza con propósitos educativos, generalmente son considerados como maquetas a escala.
- **Modelos simbólicos.** Son aquellos en los que las propiedades y características del sistema del sistema real son capturados en formas matemáticas y/o simbólicas. Los modelos simbólicos usualmente se corren por medio de cálculos, por lo que fuera de esos cálculos no se puede practicar una evaluación de la simulación.
- **Modelo analógico.** Operan por representación de variables y relaciones de un problema con artificios físicos y cantidades físicas que son fácilmente generados y controlados, por ejemplo voltajes eléctricos. Las ventajas de los cálculos analógicos es la velocidad y el poder realizar operaciones paralelas, particularmente por solucionar sistemas de ecuaciones diferenciales.

Por lo que es conveniente el analizar que tipo de modelado es el que se tomará; ya que generalmente se requiere que el análisis del sistema sea lo más rápido posible y con la seguridad de que los resultados son de alta confiabilidad; sin perder de vista que para algunos sistemas conviene un tipo de modelo más que otro.

Sin duda alguna la simulación es la nueva técnica que se esta poniendo de moda para la solución de problemas, ya que ofrece frecuentemente la solución de problemas con una alta confiabilidad, principalmente porque involucra en la solución de modelos matemáticos la utilización de distribuciones de probabilidad (que captan el comportamiento de los elementos del sistema) y la interacción de los elementos del sistema o entidades por medio de números aleatorios (lo cual le da al modelo la ambientación del sistema real).

Como técnica que ofrece la solución de problemas, se pueden encontrar las siguientes ventajas en la simulación:

1. Las nuevas políticas, los procedimientos de operación, las reglas de decisión, los flujos de información y los procedimientos organizacionales pueden ser explorados sin interrumpir las operaciones del sistema real.
2. Las designaciones de los nuevos componentes del sistema, cambios en el layout del sistema, los sistemas de transportación pueden ser probados utilizando los recursos de las ecuaciones.
3. Permite comprimir o expandir la velocidad del tiempo de simulación, sin alterar el tiempo real del proceso.
4. Se puede identificar el flujo de material, información y de productos.
5. Se puede responder a la pregunta "qué pasa si", especialmente útil en la designación de un nuevo sistema.

6. Permite la observación detallada del sistema que se está simulando provocando un mejor entendimiento y así sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
7. La simulación puede ser usada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a posibles resultados no previstos.
8. Se puede utilizar para entrenamiento de personal. En algunas ocasiones se puede tener una buena representación de un sistema y a través de él es posible entrenar y dar experiencia a cierto tipo de personal.

1.3 Importancia de la simulación.

Durante los últimos años se ha prestado gran atención, en los círculos de adiestramiento de personal, al desarrollo y empleo de medios educacionales orientados. Los métodos tradicionales de conferencias y discusiones han sido substituidos cada vez más por el método del estudio de casos¹, desempeño de papeles y por otras técnicas, las cuales intentan traer al estudiante a típicas situaciones problemáticas dentro del aula. En cambio utilizando la simulación para este propósito se puede tener una ambientación de cualquier sistema, con lo que se puede transportar a las personas; que se están adiestrando; a las zonas en donde se pretende medir su capacidad o en el mejor de los casos puede observar gráficamente lo que se espera de él, así como también se puede mostrar lo que sucedería si no realiza correctamente su trabajo y lo que pasaría si lo hace bien. Según indicaciones de expertos la forma en que más rápido se aprende es a través de la observación y experimentación; y por supuesto se puede mostrar lo que pueden hacer con la herramienta llamada simulación, ya que precisamente el cambio de escenarios; es decir de las situaciones que se pueden presentar en el sistema; es posible hacerlo fácilmente por la gran versatilidad que ofrece la simulación.

La simulación es considerada como una de las herramientas de análisis más poderosas y viables para la designación y operación de procesos complejos o sistemas, ya que proporciona una ventaja más para sobrevivir en el mundo tan competitivo, por la facilidad de poder planear, organizar, controlar los sistemas y ayudar en la toma de decisiones al resolver un problema.

¹Para una discusión del método de estudio de casos ver, John D. Glover y Ralph M. Hower, *The Administrator*, 3ª edición (Chicago, Richard D. Irwin Inc., 1957) Págs. 1 a 10; o Malcom P. McNair (Editor) *The Case Method at the Harvard Business School* (Nueva York, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1954)

Por ello se recomienda utilizar la simulación en los siguientes casos¹¹:

- ♣ Cuando se quiere estudiar y experimentar con la interacción entre los elementos de un sistema complejo o de un subsistema con un sistema complejo.
- ♣ Cuando se quiere un informe de las alteraciones que se tienen en la conducta del modelo, debido a los cambios que tiene el ambiente del sistema real.
- ♣ Cuando se quiere tener un elemento pedagógico para reforzar las metodología de soluciones analíticas, así como también cuando se quieren validar.
- ♣ Cuando se quiere experimentar con una nueva designación o se quiere saber que pasará con el proyecto antes de una implementación.

¹¹ Tomado de Applied system simulation: a review study; publicado en Information sciences-an international Journal, y en el libro Discrete-Event system simulation/ Jerry Banks, John S. Carson, Barry L. Nelson 2^a Edición/ Prentice Hall./ Pág. 4

1.4 Etapas del proceso.

Para realizar de manera correcta los estudios de simulación se requiere tener habilidad en los pasos que se muestran en la figura 1.1.

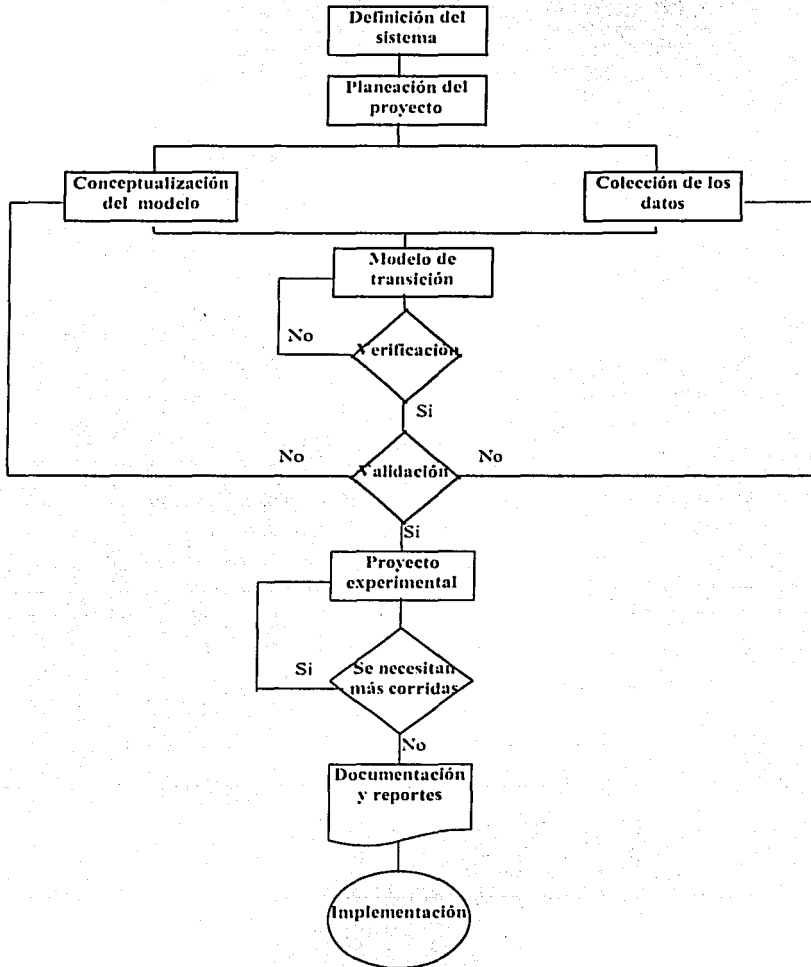


Figura 1.1. Pasos para realizar un estudio de simulación.

1. **Definición del sistema:** Es necesario determinar la interacción del sistema con otros sistemas, sus restricciones y sus interrelaciones, así como también los resultados que se esperan obtener del estudio.
2. **Planeación del proyecto:** El objetivo indica las cuestiones que se solucionarían con la simulación. El plan del proyecto global incluye la condición de las alternativas y un método para evaluar los efectos de éstas. Esto también incluye los planes para el estudio en términos del número de personas involucradas, el costo del estudio, el número de días requeridos para efectuar cada fase del trabajo y los resultados que se esperan obtener al final de cada fase.
3. **Conceptualización del modelo:** La construcción del modelo de un sistema es probablemente un arte con mucha ciencia. El arte del modelado es mejorado por una habilidad de abstraer las características esenciales de un problema, al seleccionar y modificar las partes básicas que caracterizan al sistema, enriqueciendo el modelo hasta una útil aproximación del sistema real. Por lo que se recomienda comenzar con un modelo simple y estructurarlo hacia el complicado. En la formulación del modelo es necesario definir las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelado.
4. **Colección de datos:** Es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por lo que es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente la información requerida por un modelo se puede obtener de registros contables, de órdenes de trabajo, de órdenes de compra, de opiniones de expertos y/o por experimentación; según sea el caso.
5. **Modelo de transición:** Con el modelo definido, se tiene que decidir si se utiliza algún lenguaje como fortran, basic, algol, Pascal, C, etc., o se utiliza algún paquete como GPSS, simula, simscript, SIMAN, Arena, etc., para procesarlo en la computadora.
6. **Verificación:** Se debe tener la completa seguridad de que el modelo trabaja bien, cuando resulta que el modelo no trabaja bien se puede deber a dos aspectos; el primero es que el analizador no lo realice bien y el segundo es que el usuario no lo maneje de la manera adecuada o espere que resuelva situaciones para las que no está hecho. La verificación se debe hacer de una manera muy rigurosa, con un ojo en el modelo y con el otro en los requerimientos del modelo, teniendo de esta manera bien claras las modificaciones que se tienen que hacer.
7. **Validación:** Es el proceso de elevar, el desempeño del modelo, a un aceptable nivel de confianza al realizar inferencia. Esto se logra al contestar las siguientes preguntas:
 - ¿El modelo representa adecuadamente el mundo del sistema real?
 - ¿El modelo genera datos que representan la conducta del sistema real?
 - ¿El modelo de simulación proporciona resultados confiables?
8. **Proyecto experimental:** Consiste en correr la actual situación del sistema, analizando los resultados de la simulación por medio de correlación con los

resultados que tiene el sistema real y estableciendo el error que se tiene en los datos de salida del modelo.

9. *Se necesitan más corridas:* Cada que se ponga a prueba el proyecto experimental es necesario que se calcule si se tienen las suficientes corridas como para tomar la decisión de aceptar al modelo como una fiel representación del sistema sujeto a estudio, de no ser así se tienen que generar más realizando un análisis de sensibilidad con la situación que se tiene actualmente en el sistema.
10. *Documentación y reportes:* Dos tipos de documentación son requeridos para hacer un mejor uso del modelo de simulación. La primera se refiere a la documentación de tipo técnico, es decir, a la documentación que el departamento de procesamiento de datos debe tener del modelo. La segunda se refiere al manual del usuario, con el cual se facilita la interacción y el uso del modelo desarrollado.
11. *Implementación:* Una vez que se tiene la seguridad de que el modelo es altamente confiable, para realizar la simulación del proceso, se empiezan a correr los análisis con las alternativas de los proyectos especificados.

1.5 Problemática de la aplicación.

Desafortunadamente por la alta demanda de recursos teóricos, de conocimientos sobre técnicas de análisis y sistemas productivos, la simulación tiene ciertas desventajas; que al poder superarlas se convierten en elementos que ayudan a manejar mejor la simulación. Dichas desventajas se presentan a continuación:

- ▲ La construcción de modelos requiere educación especial. Se requiere tener experiencia en modelos matemáticos. Además si los modelos son construidos por dos individuos competentes, ellos pueden tener similitudes, pero es altamente improbable que esos modelos sean idénticos.
- ▲ Los resultados de la simulación pueden presentar dificultad al interpretarlos.
- ▲ El modelado y el análisis pueden consumir mucho tiempo y ser muy costosos. Escatimar sobre las soluciones durante el modelado y el análisis puede resultar en un modelo de simulación o análisis insuficiente para la tarea propuesta.

Por lo antes expuesto se podría pensar que es muy complejo el uso de la simulación; y ciertamente si se quiere analizar sistemas muy complejos con papel y lápiz, la simulación sería muy complicado. Como apoyo, los paquetes de simulación, proporcionan un análisis de los resultados. Hoy en día es posible elaborar simulaciones rápidamente, esto es por los avances en hardware que permiten la corrida rápida de los modelos. Se empezará a notar que se recomienda el uso de la computadora y de paquetes de cómputo (ya sean generales o expertos en simulación) para resolver problemas de sistemas complejos; y es que tanto la computadora como los paquetes son herramientas

que nos dan rapidez y comodidad al realizar la mayoría de los trabajos existentes; al utilizarlos sólo se tiene que recolectar correctamente los datos de alimentación, seleccionar bien las variables y una vez que el paquete termina la simulación, saber como interpretar correctamente los resultados. Es más, existen simuladores tan avanzados en los que se puede tener el sistema en estudio con todos sus elementos (personas, máquinas, automóviles, transportadores, etc.) con los cuales al correr la simulación se puede observar como se mueve cada elemento.

Es necesario utilizar el paquete o lenguaje de simulación adecuado para sacar el mayor provecho de la simulación y tener buenos resultados; es decir si el problema que se quiere analizar no es muy complejo entonces conviene utilizar algún lenguaje de programación comercial (Fortran, Turbo C, C++, Visual Basic, Visual Fortran, etc.) en el cual se tenga el mejor dominio posible, con la desventaja de que se tienen que elaborar los algoritmos y conformar el modelo que represente al sistema en estudio, por el contrario si el sistema sujeto a estudio es muy complejo lo que nos conviene es invertir en un paquete de simulación (Siman, Arena, etc.) con lo que se construye el modelo mediante declarar las entidades; elementos en estudio; y las distribuciones de probabilidad que marcan el comportamiento de esas entidades.

Capítulo 2. Aplicación tradicional de simulación en Ingeniería Industrial.

2.1 Simulación en Ingeniería Industrial.

Desde sus inicios la simulación se ha utilizado para tomar decisiones, con un alto nivel de confianza; pero además a causa de la gran versatilidad, flexibilidad y poder de análisis que provee esta herramienta se ha incorporado a estudiar y evaluar una gran cantidad de sistemas productivos de bienes y servicios. Por lo que es conveniente el mostrar los casos típicos en los que se ha utilizado esta herramienta:

Simulación de un sistema de colas.

Con la técnica de simulación es posible estudiar y analizar sistemas de colas cuya representación matemática sería demasiado complicada de analizar; ejemplos de este sistema serían aquellos donde es posible la llegada al sistema en grupo, la salida de la cola del sistema, reintentar entrar al sistema cuando la cola es excesivamente grande, etc. Como ejemplos de estos casos se tienen a:

- Un conjunto de casetas de cobro (en las autopistas)
- Un conjunto de taquillas (en las cines)
- Un conjunto de cajeros (en los bancos)
- Un conjunto de cajas de atención al cliente (en los centros comerciales)
- Mostradores de ventas (en centros comerciales); etc.

Con los cuales se puede realizar análisis de sensibilidad para saber si es necesario incorporar un servidor más, con el objetivo de tener más agilidad en la atención de la cola y así tener más contentos a los clientes, o perder a cierto número de clientes porque resulta ser más económico que adquirir un nuevo servidor.

Simulación de un sistema de inventarios.

A través de simulación se pueden analizar más fácilmente sistemas de inventarios donde todos sus parámetros (tiempo de entrega, demanda, costo de mantener el inventario, etc.) son estocásticos. En este sentido conviene el uso de la simulación porque primeramente se puede determinar cual proveedor es el indicado para que cumpla los requisitos de materia prima que necesita el proceso en estudio, en segundo lugar se puede adoptar una política de inventario que represente mejor al sistema real; con lo cual es posible disminuir el costo de pedir, almacenar, y de posible pérdidas en materia prima. Además de que con esa política es posible disminuir el espacio destinado para dicho inventario. En esta

sección se ha estado haciendo referencia a inventarios de materias primas pero se aplica igual para inventarios en proceso; es decir; es posible el analizar en que momento se requiere que llegue material a ciertas máquinas y que cantidad de dicho material, con el objetivo de incorporar el justo a tiempo en el proceso y así poder eliminar la mayor cantidad posible de material estancado en las estaciones de trabajo; disminuyendo la cantidad de cuellos de botella.

Simulación de un proyecto de inversión.

Existen en la práctica una gran cantidad de proyectos de inversión, donde la incertidumbre con respecto a los flujos de efectivo que el proyecto genera, a las tasas de interés, a las tasas de inflación, etc., hacen difícil y a veces imposible manejar analíticamente este tipo de problemas. Para esas situaciones el uso de simulación es ampliamente recomendado. Puesto que con las técnicas tradicionales, si bien se tiene un análisis rápido de la inversión a evaluar, se corre el riesgo de que no se tenga una buena apreciación de lo que está ocurriendo con los flujos de efectivo; ya que se puede dar el caso de que las técnicas tradicionales nos digan que el proyecto de inversión es bueno, pero en el mundo económico (externo a la evaluación) se tiene un movimiento imprevisto como una devaluación o que las tasas de inflación y de interés no siguen el comportamiento constante que se estima al evaluar tradicionalmente el proyecto, por lo que se puede tener un grave error al estimar el futuro.

Una forma fácil para evitar el error antes descrito, es el de tomar la técnica de simulación como una herramienta más confiable al estimar lo que se presentará en un futuro y así poder auxiliarnos de ésta para tomar una decisión con una incertidumbre más baja. Aumentando de este modo la probabilidad de éxito al tomar las decisiones de inversión.

Simulación de sistemas económicos.

La técnica de simulación puede ser utilizada para evaluar el efecto de cierto tipo de decisiones (devaluación de la moneda, el impuesto al valor agregado, etc.) en las demás variables macroeconómicas como: producto nacional bruto, balanza comercial, inflación, circulante, etc. En estos casos se puede tener un comportamiento más estricto con el modelo de simulación que con otros sistemas de evaluación, ya que se pueden contemplar los factores que se mueven al tomar alguna decisión económica y se pueden estudiar; con una ambientación más real; las consecuencias que se tendrán con cada uno de esos movimientos. Cabe recordar que para este tipo de modelado se cuenta con el apoyo de los paquetes de simulación, con los cuales no se tiene que construir el modelo; sino simplemente; se tiene que poner énfasis en recolectar correctamente los datos de entrada que requiere el simulador (para poder lograr un correcto manejo del paquete es conveniente que lo maneje un experto o de ser más conveniente, el usuario del paquete deberá capacitarse en algún curso).

Simulación de estados financieros.

La expansión y diversificación de una organización a través de la adquisición y establecimiento de nuevas empresas, repercuten significativamente en su posición y estructura financiera. Por consiguiente, el uso de simulación permite analizar cual de las estrategias de crecimiento son las que llevarán a la organización al logro de sus objetivos y metas de corto, mediano y largo plazo. Al igual que en los proyectos de inversión, se considera que al utilizar la simulación se puede tener una estimación más precisa que las demás técnicas de evaluación existentes, ya que al poder representar al sistema en estudio por medio de variables que tienen un comportamiento aleatorio y que dichas variables son conformadas por una historia que tiene el mismo comportamiento del sistema, se puede considerar que se están tomando en cuenta las fluctuaciones que posiblemente se pudieran presentar al tomar una decisión. Como se ha mencionado antes, con las técnicas tradicionales no se puede asegurar que el comportamiento del sistema será el que se tomo en el momento de hacer la evaluación.

Simulación de sistemas de manufactura.

La simulación también es utilizada día a día para facilitar las operaciones de manufactura. Los tipos de modelos utilizados proveen la habilidad de evaluar la capacidad del sistema para recibir nuevas ordenes, para detectar eventos imprevistos como fallas en el equipo y cambios en las operaciones. Pero aun así se debe de estudiar el sistema físico por medio de la observación, ya que cabe recordar que a pesar de que la simulación ofrece un pequeño margen de incertidumbre no se debe de tomar como la verdad absoluta; sino como algo auxiliar para tomar alguna decisión.

Las empresas están rodeadas de mucha competencia, por lo que les conviene tener un buen sistema de manufactura; pero la mayoría de ellas tienen una gran resistencia al cambio; por lo que se requiere de la simulación, no solo para analizar los posibles cambios, sino para mostrar los beneficios (de una manera visual) a los empresarios. Principalmente para los ingenieros industriales dedicados al proceso de manufactura el utilizar la simulación les trae múltiples beneficios. Ya que permite evaluar la situación del sistema y sus posibles soluciones; es un auxiliar para poder convencer a la directiva de la empresa de la inversión o de los cambios que sean pertinentes hacer.

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

De acuerdo con Law^{III} es conveniente el aplicar la simulación a los sistemas de manufactura, sobre otras técnicas de control y evaluación, porque:

- ✓ El incremento de la competencia entre industrias ha resultado en un énfasis para improvisar en la producción y reducir costos. Utilizando sistemas automáticos y complejos, los cuales son típicos para analizar por medio de simulación.
- ✓ Improvisar en software de simulación puede reducir el tiempo en la elaboración y ejecución del modelo, reduciendo así el tiempo en el análisis manufacturero.
- ✓ La habilidad de animación tiene como resultado una comprensión fácil y una gran rapidez para el manejo del sistema.

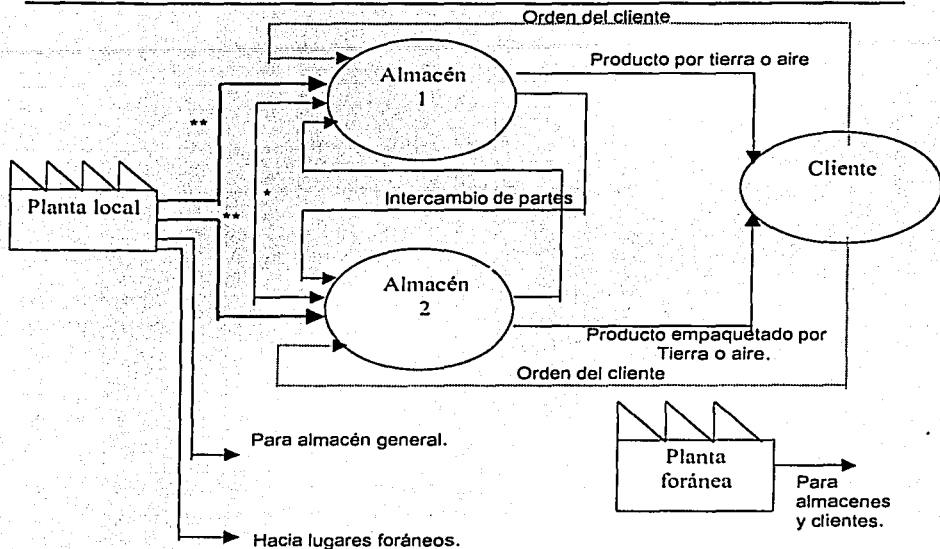
Simulación de una red logística (transportación).

Un modelo de simulación para una red logística es desarrollado para investigar el impacto de las variables asociadas con los inventarios de producción, demanda de clientes y demoras de transportación. Aquí se puede cambiar la conducta de la red real en el modelo de simulación por medio de las actividades y operaciones lógicas que contienen el problema.

La simulación en la logística se utiliza para designar y visualizar el movimiento de las entidades en transportación, en el ámbito de mapa; es decir, se puede ver por donde se transporta algo y en que tiempo se esta logrando la transportación, siendo la fuente las operaciones en la planta o un determinado almacén. Aplicando esta técnica se pretende saber cuanto producto enviar a cada almacén para cubrir las necesidades de determinados clientes. Como ejemplo de una red logística se presenta la figura 2.1^{IV}.

^{III} Simulation modeling and análisis: Averill M. Law, W. David Kelton/ 2ª edición/ Editorial McGraw-Hill/ pág. 696-699.

^{IV} Handbook of simulation principles, methodology, advances, applications, and practice/ Jerry Banks/ Editorial wiley interscience/ Pág. 577



- * Orden de intercambio.
- ** Partes entregadas por la planta a los almacenes.

Figura 2.1. Red logística.

En algunos de los problemas de transporte que son muy sencillos, es conveniente analizarlos por medio de las técnicas de transporte u otras que tengan que ver con los procedimientos de investigación de operaciones, pero cuando la red se complica con una mayor extensión o un mayor movimiento de elementos se recomienda que se utilice la simulación; puesto que no se tiene que realizar un procedimiento tan complicado como el que se realizaría con el método de transporte, y como ya se ha mencionado antes se puede jugar con diversas soluciones para saber como sería la reacción del sistema a cada una de las alternativas (de una manera virtual) cosa que no se puede hacer con los demás métodos de evaluación.

2.2 Potencial de aplicación de la simulación en la carrera de ingeniería industrial de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

A lo largo de la carrera se enseñan diversos métodos para evaluar proyectos, dar seguimiento a algún proceso, establecer líneas de producción,

redistribuir las líneas de transporte, así como asignar tareas a máquinas y trabajadores; entre otras muchas cosas. Las cuales tienen gran importancia y son de conocimiento esencial para realizar un ejercicio profesional. Pero también es importante tomar en cuenta que esta surgiendo una nueva técnica para la solución de diversos problemas; la cual proporciona una serie de ventajas sobre las técnicas tradicionales, dando así mayor seguridad al tomar decisiones. La simulación fue presentada en el capítulo anterior y se pretende mostrar que es importante capacitar al alumno sobre dicha técnica para que tenga una herramienta más al defenderse de su competencia laboral y no estar en blanco cuando se encuentre con un sistema establecido alrededor de la técnica de simulación.

Como puntos de comparación se presentan las siguientes asignaturas, en las cuales se imparten los diferentes temas que permiten la solución de problemas y se muestran los beneficios que se pueden obtener al utilizar la simulación:

Estadística avanzada.

En el tema 3 "métodos de predicción" se pretende ajustar curvas a una serie de datos para poder estimar y pronosticar el comportamiento del sistema en un futuro, para lograrlo se utilizan las series de tiempo; con las cuales se pueden tratar los datos por medio de la regresión simple y la regresión múltiple. Con dichos métodos se puede predecir el comportamiento de algún sistema teniendo como base la historia de este, por lo que es un procedimiento relativamente rápido y hasta cierto punto fácil, pero se tiene la grave desventaja de que al forzar los datos a ajustarse a una determinada curva se puedan perder algunos rasgos del comportamiento del sistema; que pudieran ser importantes; con lo que se crea un error y ese error se agranda al extrapolar los datos para inferir sobre un determinado comportamiento de esa curva. Lo que se propone con la técnica de simulación es también tomar una historia del comportamiento del sistema a través de datos, pero no sólo se trabajan con estos; si no que se construye un modelo de simulación basado en distribuciones estadísticas que engloban el comportamiento de los datos recolectados, esas distribuciones y el hecho de que se manejan con distribuciones de probabilidad son lo que permite extraer la esencia importante del mundo que se esta viviendo; por otro lado se hacen cálculos en función de números aleatorios los cuales tienen la ventaja de poder dar todas las combinaciones posibles de eventos y esto en conjunto con el modelo dar un conjunto de eventos futuros con las diversas probabilidades de que estos sucedan. Por estas razones se considera que la simulación es una buena manera de pronosticar eventos futuros.

En el tema 4 "Enfoque clásico de diseño de experimentos" se diseña o desarrolla experimentos para problemas industriales, principalmente involucrando múltiples variables y haciendo el tratamiento con una serie de tablas llamadas ANOVA; con las que se pretende probar una serie de hipótesis que engloban lo

que se espera que ocurra, toda vez que los eventos se sigan dando como hasta ese momento. Aquí se tiene el mismo error que en el caso anterior, al inferir sobre ciertas situaciones sin tomar en cuenta el entorno en el que se están dando los eventos en estudio se corre el riesgo de que la inferencia este mal o de que no suceda todo lo que se espera; por lo que en este punto se puede recurrir también a la simulación ya que se pueden involucrar las variables que se requieran y conservar las relaciones entre ellas, de tal manera que se tiene la representación correcta de lo que esta sucediendo en el sistema. Los efectos antes mencionados se pueden lograr; de una manera mejor; si se realiza la simulación por medio de un paquete especial para eso y no por medio de cálculos a papel y lápiz; ya que para lograr realizar un modelo sin la ayuda de un paquete se tiene que tener una gran cantidad de conocimientos, con lo cual se volvería inapropiada la simulación para analizar experimentos.

Ingeniería económica.

En el tema 3 "Métodos de evaluación de alternativas" se pretende evaluar alternativas desde el punto de vista económico, utilizando el método del valor presente, anualidades, TIR, Beneficio-costo. Con los cuales se tiene una evaluación rápida y sencilla, especialmente cuando se tiene que decidir rápidamente sobre cierta inversión, compra de equipo, etc.; pero se corre el riesgo de que en el momento de tomar la decisión suceda un evento inesperado, que provoque el derrumbe de la inversión. El efecto de una crisis económica, de una devaluación, y hasta el cambio del nivel de producción de cierto artículo, puede afectar la inversión evaluada por los métodos antes mencionados; esta incertidumbre se minimiza al analizar las alternativas por medio de la simulación, porque al poner tasas de interés o de crecimiento inflacionario; por citar algunos ejemplos; no se mantienen fijos como en el caso del valor presente, TIR o anualidades, sino que se le incorporan ciertas probabilidades que obligan a esas tasas a moverse con fluctuaciones que posiblemente ocurran (basados en la historia del comportamiento de esas variables) teniendo así más probabilidad de que lo obtenido por medio de la simulación sea más confiable que con los métodos tradicionales, ya que al mantener ciertas variables fijas; de la evaluación; se puede caer en un sesgo muy grande sobre los resultados y no tener resultados buenos o por lo menos aceptables, que es lo que se persigue.

En el tema 5 "Análisis de sensibilidad y riesgo" se pretende realizar el análisis por medio del método del valor presente pero en este caso haciendo que el valor presente este en función de la tasa de interés que en ese momento se este considerando, también se realiza ese análisis por medio del punto de equilibrio; el cual se utiliza para analizar alternativas considerando los efectos originados por el transcurso del tiempo. En el primer caso; el del valor presente; se realiza el análisis de sensibilidad por medio de obtener una expresión algebraica en la que se tenga al valor presente como función de las tasas de interés que se estén manejando en el momento de hacer la evaluación (o bien si se utilizan las tablas, solo se tienen que buscar los factores de conversión que correspondan a

dichos valores presentes) para posteriormente realizar el cálculo de cada uno de los valores presentes; que corresponden a cada una de las alternativas; y posteriormente tomar la decisión. En el segundo caso; el del punto de equilibrio; se toma la situación actual y por medio de ella y de los cambios que se tienen planeados se realiza el cálculo de los puntos de equilibrio y de esta manera; teniendo todos los puntos de equilibrio; se puede inferir con cierta incertidumbre cuanto volumen de ventas se requiere para que no se llegue a tener una pérdida; por citar un ejemplo). Pero en ambos casos se cae en el error de considerar cada una de las tasa constantes, ya que por lo general se toma la tasa que se esta manejando en los bancos o en su defecto la que en el momento de hacer la evaluación se tiene en la empresa. Nuevamente la ventaja que ofrece la simulación es que en ella se puede variar esas tasas; puesto que se tiene la capacidad de relacionar los datos históricos con la situación que tiene actualmente el sistema, por lo que la incertidumbre, sobre las variaciones en el comportamientos económico que gira en torno de nuestro sistema, se hace más pequeña. Por lo que se puede tomar una decisión con una mayor tranquilidad; sin perder de vista que al igual que los demás métodos la simulación es solo una herramienta y que se tiene que utilizar bajo algunas reservas. Con referente al punto de equilibrio es posible el hacer un análisis exhaustivo de cada situación y además poder seguir el comportamiento del sistema en cada momento; sin tener que hacer una extrapolación demasiado extensa.

Investigación de operaciones I.

En el tema 4 "Algoritmos especiales" se trata el problema de transporte y el problema de asignación por medio de la programación lineal, en la que se empiezan a incorporar más fácilmente los programas de cómputo a la solución de dichos problemas (cosa que vuelve más fácil el tratamiento de esos casos), pero el problema se da al conformar los modelos matemáticos; puesto que se tienen que realizar muchas consideraciones y tener experiencia en el manejo de sistema de ecuaciones; en estos dos puntos es en donde se tiene más probabilidad de falla y es el punto clave para la solución del problema, y por si fuera poco al obtener los resultados del paquete se tienen que interpretar muy cuidadosamente puesto que cada paquete los presenta de una manera diferente y puede tener un criterio de decisión inapropiado para el fin que se quiere. Sin duda alguna son métodos muy poderosos los que se manejan en este caso y son muy apropiados cuando se tiene una red de transporte y de asignación con bajo nivel de complejidad; pero al tener una red más complicada es más recomendable el utilizar un paquete de simulación, si bien es cierto que en estos paquetes se tiene que construir un modelo; también es cierto que la construcción de este es mucho más sencilla que en los métodos tradicionales, además de que la forma de dar seguimiento al sistema es por medio de distribuciones de probabilidad y de probabilidad de ocurrencia, lo que nos da como resultado el poder cambiar cada una de las situaciones sin tener que realizar todo un nuevo modelo; sino simplemente cambiando la distribución de probabilidad que rige a cada elemento del sistema. Es posible que el análisis de resultados por medio de la simulación

sea más fácil que por los otros paquetes, ya que algunos de los paquetes proporcionan un listado con la evaluación de cada una de las entidades mostrando lo que pasaría en el análisis de sensibilidad.

En el tema 5 "Redes" se tiene el caso del árbol de mínima expansión, problema de flujo máximo, ruta más corta, planeación y control de proyectos mediante ruta crítica; con los cuales se utiliza una técnica llamada redes, en la cual por medio de un esquema se analiza la forma más rápida, la más corta; en tiempo y recursos, la más segura para llegar a un lugar o para realizar cronológicamente una serie de actividades. Esta técnica es relativamente sencilla pero puede consumir bastante tiempo; dependiendo de que tan complicado sea la red que se maneje. Para cuando la red es demasiado complicada es recomendable utilizar la técnica de simulación ya que no se tienen que realizar los cálculos para cada camino, sino que sólo se tiene que cuidar de que la construcción de la red sea la adecuada y de que la asignación de cada nodo sea el correcto; en la forma de utilizar tradicionalmente la red se incorporan probabilidades de ocurrencia a cada nodo por lo que se hace más fácil utilizar la simulación ya que una vez que se tiene la forma de la red lo que hace falta es sólo las probabilidades que se tienen para que ocurra cada camino señalado en dicha red. La forma en que se pueden tratar estos sistemas; por medio de la simulación; se ejemplifica en el tema simulación de una red logística.

Investigación de operaciones II.

En el tema 3 "Teoría de colas" se aplican los modelos de teorías de cola para describir el comportamiento de los sistemas que tienen ese tipo de estructura. En esta parte se utilizan los cálculos analíticos para resolver problemas en los que se tiene que decidir si conviene colocar nuevos servidores para dar atención a los clientes que se tienen en la fila de la cola, o lo que conviene es dejar que algunos clientes se retiren del servicio que ofrece el sistema porque resulta ser más barato que adquirir más servidores.

En el tema 4 "Teoría de inventarios probabilísticos" se pretende aplicar los modelos matemáticos a sistemas de inventarios, e interpretar las políticas óptimas para manejar dichos inventarios, en estos modelos ya es posible el incorporar la variable de un tiempo de entrada inestable, o un consumo inestable para predecir el nivel de inventario óptimo que en un momento dado conviene tener.

La forma en la que se analizan estos sistemas es básicamente la que utiliza la simulación, ya que la forma en la que se pretende analizar estos sistemas es incorporando una serie de variables que representen la aleatoriedad de la ocurrencia de cada evento. Sin embargo esta forma de analizar los sistemas también puede ser cambiada por un paquete de simulación ya que al tener sistemas demasiados complejos el cálculo de los modelos se torna demasiado complicado y muy monótono; con lo que se corre el riesgo de que se cometan fallas al momento de hacer los cálculos matemáticos. Por ejemplo al analizar

sistemas de colas, se pueden manejar con relativa facilidad unos 5 o 6 servidores; si se pretende analizar un número mayor a estos entonces es más recomendable incorporar un sistema de simulación ya que el manejo matemático es muy complicado.

Planeación y control de la producción.

En el tema 3 "Balanceo de líneas" se realiza el balanceo de líneas de producción tomando como base las instrucciones que se les den a los operarios de la línea, la secuencia de producción que se tenga para elaborar el producto o si así se requiere en base a la tasa de producción que se haya sugerido en un estudio previo. La forma en la que se realiza dicho balanceo es analizando las prioridades de cada estación de trabajo, la distribución para eliminar los cuellos de botella, distribución para tener el mínimo de transporte, o para ocupar un menor espacio dentro de la planta; para tales casos se tiene que estar haciendo cálculos y/o distribuciones en maquetas para ver como quedaría conformado el sistema y ver como sería el recorrido del material en proceso. Todo este juego es posible hacerlo en un paquete de simulación, ya que existen simuladores en los que se puede tener toda la distribución del sistema; con la forma real de los elementos; en los cuales además de realizar el análisis estocástico se puede ver el trayecto de cada elemento del sistema, con ello identificando el flujo que tiene cada elemento; este análisis se realiza fácilmente porque al construir el modelo se dan de alta las entidades por medio de distribuciones probabilísticas que representan el comportamiento que tienen, y a este se le da el ambiente por medio de la evaluación de números aleatorios en esas distribuciones, lo que da como resultado el poder tener en escala al sistema representado; ahora bien esas propiedades de las entidades no cambian al desplazarlas de un lugar a otro (cosa que se puede hacer simplemente arrastrando el dibujo de la entidad, dentro del esquema del simulador, y posteriormente reconectar esa entidad con la que la preside y con la que la precede), logrando de esta manera no solo ver en que forma quedaría el sistema al hacer una modificación sino que además se puede hacer, sin elaborar otro modelo matemático, el análisis de sensibilidad del sistema propuesto.

En el tema 4 "Sistemas de administración de inventarios" se trata de nueva cuenta a los inventarios por medio de modelos matemáticos que tienen la intención de analizar a los sistemas involucrando los elementos estocásticos; como pueden ser el tiempo de entrega de la materia prima, la cantidad de demanda, el número de falla en determinadas líneas, etc.. Se puede decir que la forma en la que aquí se analizan los sistemas es de alta confiabilidad pero en ocasiones se puede tornar demasiado complicado o engorroso el análisis matemático, por lo que; al igual que en los inventarios tratados en la materia de Investigación de operaciones; se puede utilizar la simulación para ayudar al análisis de dichos inventarios, ya que proporcionan una gran facilidad al manejar los modelos.

En el tema 5 "Logística" se utiliza la planeación, programación y el control de los sistemas productivos, para poder manejar cada parte que se encuentra dentro del sistema, así como para tener bajo control el flujo del material u objetos dentro de ellos. Para este caso es recomendable utilizar la simulación como medio de implementación; es decir, teniendo la estructura del sistema y teniendo ya el plan de acción arrojado por la logística, es posible hacer los cambios pertinentes dentro del simulador para darnos una idea de cómo reaccionaría el sistema físico al implementar los cambios planeados o si se requiere predecir los efectos que se tendrían en el sistema al tener un descontrol en el sistema productivo.

Evaluación de proyectos.

En esta materia tanto en el tema 5 "Ingeniería y tecnología del proyecto" como en el tema 8 "Evaluación financiera" se evalúan proyectos, generalmente de inversión, por medio de los métodos tradicionales de ingeniería económica; tales como valor presente, anualidades, TIR; con los cuales se presentan las mismas ventajas y problemas descritos con anterioridad. Para efectos de este punto se consideran las mismas ventajas presentadas dentro del tema Ingeniería económica.

Los puntos antes señalados, se presentan no como un cuestionamiento sobre si sirven los temas que se tratan dentro de la carrera de Ingeniería Industrial, sino como una muestra de que también es importante tomar en cuenta las ventajas de la aplicación de la simulación de procesos estocásticos, ya que por medio de ella se pueden involucrar variables que en otras herramientas de decisión permanecen fijas; como por ejemplo la variación de las tasas de interés.

Capítulo 3. Simulación en la industria y en el sector servicios.

3.1 Introducción.

Muchos sistemas productivos y de servicios cuentan con simuladores especiales para cada rama, algunos otros todavía se analizan con métodos tradicionales; pero el cambio al análisis con simulación no está muy lejos ya que dichos sistemas se han vuelto tan complejos que la interacción de sus variables es muy exhaustiva al resolverlos con solo métodos matemáticos.

Los casos verídicos que se expondrán están orientados a mostrar los beneficios que proporciona la simulación, al tomar decisiones, en industrias productivas y de servicio.

3.2 Simulación de bolsa de valores.

En el Centro de Simulación Empresarial; ubicado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México; se ha desarrollado un simulador que se comporta de la misma manera que la bolsa de valores. En el que se pretende:

- Mostrar cómo se administra un portafolio de acciones mediante operaciones de compra y venta de acciones en una Bolsa de Valores, en la cual cotizan una serie de empresas sujetas a un ambiente económico cambiante.
- Fortalecer la capacidad de análisis sobre el desempeño de un grupo de empresas, de los participantes de la simulación de negocios.

En dicho sistema, a los participantes; se les otorga una cantidad inicial de dinero a fin de que lleven a cabo la compra de las acciones de las empresas que cotizan en la bolsa de valores. Se puede adquirir, al inicio de cada periodo, un portafolio de acciones de las empresas que se deseen; asimismo se puede realizar la venta de las acciones adquiridas previamente al finalizar un periodo y se puede invertir el dinero de dicha venta (más la utilidad o menos la pérdida) al inicio del siguiente periodo.

Se da información de todas las empresas participantes a través de un reporte, en el cual se muestra el precio de la acción de las empresas, indicadores financieros de las mismas, aspectos generales de producción, marketing y cambios que se producen en el entorno. El ganador de la competencia es aquel que acumula una mayor cantidad de efectivo como resultado de las operaciones de transacción que puede realizar en el mercado bursátil. Es importante señalar que la ejecución de esta simulación es por vía Internet.

3.3 Simulación de mercados.

El comportamiento de las empresas en los mercados tiene aspectos que le hacen especialmente adecuadas para la utilización de metodología de simulación estocástica, ya que las características básicas de autonomía y habilidad social, entre otras, son así mismas los elementos fundamentales de la conducta de las empresas.

Las empresas tienen autonomía en su toma de decisiones; son capaces de actuar independientemente, no estando controladas desde el exterior ni sus acciones ni su estado interno. Esta característica de las empresas es difícilmente abarcable desde otras metodologías distintas a la de simulación estocástica sin incluir el supuesto de que todas las empresas tienen la misma información y se comportan de igual forma.

Por otra parte, las empresas se comunican e interactúan entre sí, es decir, tienen habilidad social. Esta comunicación puede ser a través de la producción. Además, las empresas son reactivas; son capaces de percibir su entorno y responder a los estímulos recibidos actuando sobre los instrumentos de que dispone como el nivel de producción y la inversión, también son proactivas ya que no sólo son capaces de reaccionar frente al entorno sino que llevan a cabo acciones por iniciativa propia para así alcanzar un objetivo.

En una ponencia presentada en el congreso Workshop 2000 – Agent Based Simulation celebrado en Passau (Alemania) y organizado por la Society for Computer Simulation; el profesor Federico Pablo Martí, presentó un simulador llamado DRIADE desarrollado en el Laboratorio de Finanzas Computacionales de la Universidad de Alcalá. El cual posee la capacidad de manejar los siguientes puntos:

- La entrada de nuevas empresas en cada periodo no es fija ni exclusivamente aleatoria sino que depende de la evolución del mercado. El número de entradas esta determinado fundamentalmente por la rentabilidad observada en el sector en el periodo anterior y el tamaño de las barreras a la entrada. Éstas a su vez no son estáticas sino que varían a medida que el mercado madura.
- Las salidas de las empresas no dependen exclusivamente de la rentabilidad empresarial sino que se ven afectadas también por aspectos aleatorios.
- Los costos de las empresas no son fijos sino que se determinan a partir de su nivel de producción y el precio de los factores productivos de trabajo y capital, lo que permite la consideración de economías de escala.
- Las empresas son racionales y actúan sobre las variables a su alcance en función de sus objetivos y de la limitada información de que disponen sobre la evolución del mercado y la conducta de sus competidores.

3.3 Simulación de mercados.

El comportamiento de las empresas en los mercados tiene aspectos que le hacen especialmente adecuadas para la utilización de metodología de simulación estocástica, ya que las características básicas de autonomía y habilidad social, entre otras, son así mismas los elementos fundamentales de la conducta de las empresas.

Las empresas tienen autonomía en su toma de decisiones; son capaces de actuar independientemente, no estando controladas desde el exterior ni sus acciones ni su estado interno. Esta característica de las empresas es difícilmente abarcable desde otras metodologías distintas a la de simulación estocástica sin incluir el supuesto de que todas las empresas tienen la misma información y se comportan de igual forma.

Por otra parte, las empresas se comunican e interactúan entre sí, es decir, tienen habilidad social. Esta comunicación puede ser a través de la producción. Además, las empresas son reactivas; son capaces de percibir su entorno y responder a los estímulos recibidos actuando sobre los instrumentos de que dispone como el nivel de producción y la inversión, también son proactivas ya que no sólo son capaces de reaccionar frente al entorno sino que llevan a cabo acciones por iniciativa propia para así alcanzar un objetivo.

En una ponencia presentada en el congreso Workshop 2000 – Agent Based Simulation celebrado en Passau (Alemania) y organizado por la Society for Computer Simulation; el profesor Federico Pablo Martí, presentó un simulador llamado DRIADE desarrollado en el Laboratorio de Finanzas Computacionales de la Universidad de Alcalá. El cual posee la capacidad de manejar los siguientes puntos:

- La entrada de nuevas empresas en cada periodo no es fija ni exclusivamente aleatoria sino que depende de la evolución del mercado. El número de entradas esta determinado fundamentalmente por la rentabilidad observada en el sector en el periodo anterior y el tamaño de las barreras a la entrada. Éstas a su vez no son estáticas sino que varían a medida que el mercado madura.
- Las salidas de las empresas no dependen exclusivamente de la rentabilidad empresarial sino que se ven afectadas también por aspectos aleatorios.
- Los costos de las empresas no son fijos sino que se determinan a partir de su nivel de producción y el precio de los factores productivos de trabajo y capital, lo que permite la consideración de economías de escala.
- Las empresas son racionales y actúan sobre las variables a su alcance en función de sus objetivos y de la limitada información de que disponen sobre la evolución del mercado y la conducta de sus competidores.

- El modelo permite la existencia de submercados cuyos productos son imperfectamente sustitutos en los que compitan empresas de tamaños y niveles de eficiencia diferentes.
- Los resultados del modelo, al estar influidos por aspectos aleatorios y variar de una simulación a otra, no se expresan en términos absolutos sino como distribuciones de probabilidad.
- El diseño es modular lo que permite ampliar y modificar el modelo de una forma sencilla ya que no precisa la alteración de su estructura básica.
- El modelo incluye actualmente siete módulos que pueden ser modificados libremente en función de las necesidades del análisis:
 - Demanda del mercado
 - Distribución de tamaños: capacidad
 - Importaciones
 - Entradas
 - Crecimiento empresarial
 - Producción y costos
 - Salidas

3.4 Simulación en la industria automotriz.

En todo proceso productivo complejo, como es una fábrica de automóviles, la toma de decisiones exige tener en cuenta un gran número de variables. Cada inversión a realizar exige una gran inversión en el estudio de la manufactura del producto, y existe una gran incertidumbre sobre los resultados que se obtendrán de la misma.

Como muestra de ello se tiene el Trabajo que realizó Lanner Group, al desarrollar un sistema automático de análisis de disponibilidades para la fábrica que posee Renault, con el nombre de Witness 9. Con este proyecto se creó un modelo de simulación del proceso productivo completo de la Fabricación y Montaje del sector del automóvil. En el modelo se pueden realizar análisis y sobre todo cuantificación de los resultados que se obtendrán antes de realizar diferentes inversiones, tocando los siguientes puntos:

- Optimización de la producción.
- Identificación de "cuellos de botella" y su naturaleza.
- Determinación de parámetros logísticos (rendimientos, disponibilidades,...).
- Dimensiones del área de trabajo y aprovisionamientos.
- Determinación de recorridos de piezas y elementos.
- Efectos de cambios y de reducción de tiempos.
- Asignación eficiente de recursos
- Optimización del mantenimiento
- Planificación de arranque y paradas de la planta.
- Evaluación de las propuestas de mejora.

- Determinar evoluciones de la fabricación ante posibles planes de mejora en la misma y cuantificación de las mejoras que se consiguen.
- Comparar diferentes estrategias o alternativas.
- Determinación de la inversión óptima.

3.5 Simulación de células de montaje.

El análisis de todo proceso productivo, para su optimización, exige realizar una serie de cálculos y tener en cuenta todas las interacciones, normalmente estas no son sencillas de determinar, y en consecuencia la evaluación del proceso no es sencilla. Tradicionalmente la optimización, se realizaba mediante simplificaciones, las cuales podían ocultar interrelaciones importantes, obteniendo por tanto análisis que en algunos casos tenían un alto grado de incertidumbre.

Como ejemplo de este caso se tiene el estudio realizado a las células de montaje que posee Dalphi Metal, en el cual los analistas crearon un modelo privado para la empresa. El modelo es capaz de analizar:

- La asignación eficiente de recursos.
- Costos por unidad producida.
- Capacidades productivas máximas.
- Producción óptima.
- Balanceo de línea.

Como resultado del análisis se tienen todos los parámetros que definen una célula de montaje: Maquinaria, número óptimo de operarios y asignaciones eficientes de los mismos, balanceo de línea y minimización de los costos asociados a la unidad producida.

3.6 Simulación en otros campos.

Simulación de transporte de material granular por vibración.

Los investigadores Guillermo Rein Soto-Yarritu y Ángel de Andrés Martínez, del Instituto de Investigación Tecnológica; de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid; desarrollaron un modelo para simulación del movimiento de material granular. El modelo computacional propuesto se basa en el método de las deformaciones discontinuas, de reciente desarrollo y gran potencial para la simulación del movimiento de partículas. Se tiene en cuenta la fuerza de la gravedad, el impacto entre partículas y de éstas contra las fronteras del dominio, la fricción y la cohesión. El modelo simula material granular en movimiento inducido por la vibración de la superficie sobre la que descansan. Los resultados del modelo se emplearon para la optimización de una mesa de separación densimétrica para composta de la que ya se ha construido un primer prototipo.

Simulación de aguas subterráneas.

Existen modelos de computadora para simular el flujo o transporte en aguas subterráneas, verificados, bien documentados y aceptados. Estos modelos de simulación fueron diseñados para predecir respuestas de sistemas físicos a las decisiones del manejo de aguas subterráneas. Para hacerlo el modelador generalmente asume varias estrategias para bombeo de aguas subterráneas (estrategia es una serie de sitios y programas de bombeo). Se pueden predecir las consecuencias de implementar las estrategias planeadas, seleccionando así la estrategia más deseable.

El Centro Internacional de Riegos en la Universidad Estatal de Utah ofrece entrenamiento intensivo en el uso de los modelos de computadora en simulación/optimización para el mejor manejo de los recursos de aguas subterráneas. Los modelos están diseñados para calcular directamente la mejor estrategia de manejo. Esto es diferente de la función de un modelo de Simulación; para usar el modelo de simulación/optimización, el modelador define la(s) meta(s) de manejo y las restricciones en las respuestas aceptables de los sistemas físicos. El modelo de simulación/optimización calcula directamente la mejor estrategia de manejo de agua para el escenario de manejo. El modelo hace esto al combinar métodos de optimización matemática con modelos estándar de simulación.

El software base para lograr este tipo de simulación es el REMAX, el cual es el más amplio y fácil de usar, disponible para el diseño de estrategias óptimas de manejo y de bombeo de sistemas de pozos.

En esta simulación se puede calcular estrategias óptimas de bombeo para cualquier sistema de agua subterránea, las cuales incluyen optimización de caudales en derivaciones de aguas superficiales y de bombeo de sistemas de pozos. Se asegura que la implementación de la estrategia óptima de manejo de agua no causará respuestas físicas inaceptables del sistema.

Simulación agrícola.

La simulación computarizada ofrece la posibilidad de comprimir el tiempo, esfuerzo y cantidad de recursos necesarios para tomar decisiones y recomendar estrategias de manejo en el ámbito agrícola. Sin embargo, para esto es necesario una gran infraestructura para apoyar la recolección de datos, el diseño de paquetes de computadora, y para efectuar los ensayos de validación necesarios para la elaboración y utilización de agro simuladores confiables. Dado que durante los últimos 30 años se ha realizado un gran esfuerzo por crear tal infraestructura en los centros principales de investigación agrícola de los países industrializados, es factible ahora aprovechar las metodologías de simulación aún cuando los recursos disponibles en un local determinado sean modestos. Existen simuladores para cada uno de los cultivos principales del mundo, y la adaptación de cualquiera de ellos a un local específico requiere tan sólo de un microcomputador y unas

cuantas temporadas de crecimiento para recolectar datos y calibrar los modelos al ambiente correspondiente. Los países en vía de desarrollo, en donde existe gran urgencia por aumentar la capacidad de producción agrícola en forma sustentable, pueden ser los beneficiarios mayores de esta tecnología.

El petróleo y la simulación molecular.

Por su composición original, el petróleo contiene elementos que pueden dañar los ductos por los que viaja: desde su extracción hasta en los procesos de traslado y recepción. Ante ello, Petróleos Mexicanos (PEMEX) solicitó al Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) el desarrollo de un elemento que se adhiera al ducto, a fin de evitar el daño mencionado, y que al mismo tiempo no signifique un gasto excesivo, ni altere las propiedades del petróleo. Además, este producto debe permanecer en contacto con la superficie y no ser arrastrado por el fluido.

Para lograr un producto terminado que comprenda las características anteriores, los científicos del IMP deben conocer la estructura molecular y la capacidad de absorción del anticorrosivo que se busca. Este objetivo tecnológico fue canalizado al programa Simulación Molecular, en el que se pretende tener todos las posibles combinaciones de anticorrosivos y sus efectos que producen al aplicarse en los ductos; para lo cual se estudia el manejo de la corrosión, sus causas, los efectos y la adhesión a los ductos, mediante la generación de variables aleatorias, las cuales se crearon de acuerdo al comportamiento de los factores involucrados en casos donde se han tenido fallas en los ductos por corrosión.

En este caso todavía no se cuenta con un simulador experto, ya que el estudio se esta llevando a cabo, pero es una muestra clara de que la simulación de procesos estocásticos esta tomando un auge importante en la industria

4.1 Introducción.

En un principio los lenguajes que se desarrollaron eran de propósito general; sin embargo, poco a poco los estudiosos de este tema se dieron cuenta de la gran similitud que existía entre las diferentes situaciones o sistemas que se simulaban. Esto condujo al desarrollo de lenguajes de propósito especial, que proporcionan una serie de ventajas como las siguientes:

- a) Reducción en la tarea de programación. Con los lenguajes de simulación, el tiempo dedicado a la programación del modelo se reduce considerablemente. Existen algunos paquetes en los que con un número muy reducido de sentencias se pueden simular sistemas que en otro lenguaje, como FORTRAN, requerirían una gran cantidad de rutinas.
- b) Mejor definición del sistema. A través de los lenguajes de simulación, se facilita la tarea de definir las diferentes entidades que interactúan dentro del sistema.
- c) Mayor flexibilidad para cambios. Con los lenguajes generales el proceso de cambio puede ser largo y tedioso. Sin embargo, con el uso de lenguajes de simulación, los cambios son una tarea simple.
- d) Mejor diferenciación de las entidades que forman el sistema. El uso de lenguajes de simulación facilita el determinar o definir las características y atributos de una entidad. Con las entidades bien definidas y diferenciadas, se aumenta y mejora el entendimiento del sistema a simular.
- e) Se relacionan mejor las entidades. Con las entidades bien definidas los lenguajes de simulación permiten relacionar mejor a cada una de estas entidades, es decir, se determina más fácilmente las relaciones que las entidades guardan entre sí y el análisis de cada una de ellas.

Por lo general, el uso de un lenguaje de simulación puede reducir el tiempo y el costo de preparar el modelo en un programa de propósito general. Esto ocurre porque la mayoría de los lenguajes tienen características como las siguientes:

- 1. Una rutina maestra de programación cronológica que lleva un registro de los eventos y que los programa conforme ocurren en el tiempo simulado.
- 2. Generadores de números aleatorios.
- 3. Generadores de proceso que pueden utilizarse para generar valores aleatorios para diferentes distribuciones probabilísticas.
- 4. Rutinas automáticas de recopilación de datos estadísticos.
- 5. Informes estadísticos automáticos y de formato fijo, así como gráficas de datos para el informe con los resultados.
- 6. Capacidad de diagnóstico dentro del lenguaje que permite verificar errores de sintaxis en el lenguaje y errores de lógica en el modelo.

Es importante tomar en cuenta las características de cada lenguaje y del problema a analizar, ya que se corre el riesgo de que no se escoja el simulador

indicado para analizar el sistema, esto es porque, existen simuladores que tienen capacidad para analizar una cantidad importante de sistemas y existen otros lenguajes que están diseñados para orientarse a algunos problemas.

Se pueden tomar como desventajas al usar un lenguaje de simulación el hecho de que es posible que se requiera una capacitación prolongada para su uso y también que el lenguaje no esté disponible en alguna computadora determinada; esto porque algunos lenguajes están restringidos a ciertos tipos o tamaños de computadora.

En esta sección se tocarán algunos puntos importantes sobre los lenguajes de simulación actuales y con mayor potencia.

4.2 Lenguaje SIMNET.

El diseño del SIMNET se basa en la idea general que los modelos de simulación pueden crearse de una u otra manera como sistemas de líneas de espera. En este contexto, el lenguaje se basa en una red que utiliza cuatro nodos: una fuente, de donde llegan clientes, una línea de espera, donde la espera tiene lugar en caso de ser necesaria, una instalación, donde se lleva a cabo el servicio y un nodo auxiliar para incrementar las capacidades de modelación del lenguaje.

Los nodos en SIMNET están conectados por ramas. Conforme las transacciones recorren las ramas, éstas ejecutan funciones como: controlar el flujo de transacción en cualquier parte de la red, recolectar datos de análisis y efectuar cálculos aritméticos.

Durante la ejecución de la simulación, el lenguaje tiene el control de los clientes colocándolos en archivos; es decir, en una base de datos en donde cada línea se usa para almacenar información acerca de un solo cliente, las columnas de la base de datos representan los atributos que permiten al modelador tener control de las características de cada transacción. Por lo que se puede decir que los atributos se comportan como variables que se mueven con sus respectivos clientes a donde quiera que vayan en la red del modelo.

4.3 Lenguaje GPSS.

El GPSS (General-Purpose Simulation Systems ó Sistemas de simulación de aplicación general), es uno de los lenguajes de simulación que han sido más utilizados. Fue desarrollado a principios del año 1960 por Geoffrey Gordon de la IBM, se diseñó para utilizarlo principalmente en el estudio de sistemas de línea de espera. A pesar de que su nombre señala que es de aplicación general su diseño difiere en forma radical del diseño de los lenguajes de aplicación general; ya que su diseño se basa en una estructura de diagramas de flujo de bloques

(aproximadamente existen 40 tipos diferentes de bloques), de los cuales unos controlan la llegada de los clientes, otros controlan sus flujos y algunos su salida.

El lenguaje incluye un mecanismo automático de reloj y una rutina estadística automática de recopilación y generación de informes. Es posible que para los principiantes el GPSS resulte el lenguaje más accesible para simular modelos elementales, en particular cuando se ha superado la dificultad de manejar la estructura de bloques; pero el precio que debe pagarse por facilidad en la programación es el tiempo de las corridas, ya que la mayoría de los programas elaborados con este lenguaje requieren tiempos prolongados de corrida en computadoras.

4.4 Lenguaje SIMSCRIPT.

Fue desarrollado por la Rand Corporation a principios del año 1960. Utiliza cierta terminología y conceptos de la simulación, tales como entidades, atributos y conjuntos. Las entidades se usan para denotar un objeto de un sistema, los atributos se emplean para caracterizar o describir las entidades. Los conjuntos se utilizan para definir diversas agrupaciones de las entidades, tales como líneas de espera.

El SIMSCRIPT se basa en FORTRAN, por lo que se tienen que dar de alta líneas de instrucción para modelar, pero en él ya se cuenta con contadores que muestran el contenido de los conjuntos y, además se dispone de un mecanismo automático de reloj para la programación cronológica de eventos. En él se cuenta con comandos específicos para algunas tareas, como es el caso de CREATE para crear una nueva entidad o CAUSE para ocasionar que ocurra un evento en algún momento del futuro. Además de esta característica, el lenguaje tiene un generador de informes que hace posible configurar el formato de la impresión de resultados.

En general el SIMSCRIPT es más eficiente que GPSS, pero la mayoría de las versiones del compilador de SIMSCRIPT requieren gran cantidad de espacio de almacenamiento. Por lo que es común que GPSS pueda utilizarse en máquinas con menor capacidad de almacenamiento que las que se requiere para dar cabida a SIMSCRIPT.

4.5 Lenguaje SLAM.

El SLAM (lenguaje de simulación para el planteamiento de modelos alternativos) es similar al SIMSCRIPT sólo que permite construir modelos de Simulación a partir de tres puntos de vista distintos:

- Contiene símbolos de redes para construir modelos gráficos que se traducen con facilidad a planteamientos que pueden procesarse en forma directa por computadora.

- Contiene subprogramas que facilitan el uso de los modelos.
- Proporciona subprogramas y procedimientos que permiten el desarrollo de modelos.

El lenguaje SLAM fue diseñado y desarrollado por Alan B. Pritsker, de Pritsker and Associates, y Claude D. Pegden, del Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas de la Universidad de Alabama en Huntsville. Dicho lenguaje es una combinación de GERT (Técnica de revisión y evaluación gráfica, que es un lenguaje para plantear modelos de redes) y GASP (un lenguaje que se basa en FORTRAN y que tiene capacidad para almacenar modelos), ambos desarrollados a principios y mediados del año 1970 por Pritsker and Associates.

Al igual que SIMSCRIPT, el SLAM puede almacenar los eventos, recopilar datos de análisis y graficar los resultados de la simulación, pero el problema es que como utiliza subprogramas para efectuar estas operaciones se debe de conocer la sintaxis de cada instrucción en los programas seleccionados para poder dar de alta las funciones.

La característica de redes del lenguaje SLAM es similar a la del GPSS y puede comprenderse con poco tiempo y estudio. La ventaja que tiene SLAM es que su estructura de redes puede combinarse con alguna función específica de los subprogramas.

SLAM proporciona un informe de diagnóstico de errores, en el cual se lleva un tiempo de depuración mayor al invertido en el SIMSCRIPT, pero una vez depurado ejecuta con mayor rapidez la simulación.

4.6 Lenguaje SIMAN.

Este lenguaje fue elaborado por C. Dennis Pegden de la Systems Modeling Corp.; en él la forma de dar de alta el modelo puede ser por medio de ecuaciones algebraicas o diferenciales. La estructura del lenguaje permite incorporar modelos en los que se describen los elementos físicos del sistema; como en el caso de las máquinas, trabajadores, transportadores, flujo de partes, etc.; además de las interrelaciones lógicas. El análisis de resultados que proporciona SIMAN puede usarse para generar gráficas, histogramas, tablas, dentro del propio lenguaje ya que cuenta con espacios destinados a guardar los datos. Los aspectos que resaltan a éste simulador son:

- En el modelo de sistemas de manufactura se cuenta con la habilidad de describir el entorno de las estaciones de trabajo y la habilidad para definir la secuencia del movimiento de entradas a través del sistema.
- Permite la construcción de modelos en donde el sistema incluye el manejo del material, transportadores y vehículos guiados.

- Contiene controles interactivos, que permiten manipular la simulación.
- Permite incorporar los datos de entrada por medio de datos históricos o por distribuciones de probabilidad.
- Se puede correr en cualquier tipo de computadora.
- Contiene gráficos interactivos con los que se pueden representar los datos de salida o resultados.

4.7 Lenguaje ARENA.

El lenguaje ARENA esta basado en el lenguaje SIMAN, proporcionando así todas las características de él, pero además cuenta con características propias que dan un gran poder de análisis, haciendo que sea un buen paquete pedagógico y de gran manejabilidad:

1. El paquete se maneja con ambiente de Windows, lo cual permite poder explorar cada parte del simulador sin perder de vista la información contenida en pantalla.
2. La declaración del modelo se realiza por medio de objetos orientados y no con líneas de instrucción, que es la forma en la que se realiza con los demás paquetes. Solo basta con seleccionar la ruta que seguirá el cliente u objeto a través del sistema y por los servidores; eventualmente se tiene que dar instrucciones escritas, pero la forma de darlas es por medio de las ventanas de los comandos.
3. Es posible incorporar fotografías para los clientes y servidores, logrando así crear una ambientación visual, del modelo. Al colocar las fotografías se puede ver la transición de los clientes y el movimiento de los servidores al dar el servicio, además se puede dar paso a paso la transformación de los materiales involucrados en los procesos de producción; por dar un ejemplo.
4. Se puede dibujar todo el esquema del sistema real. Dicho esquema se puede realizar en el mismo paquete de simulación, También se puede realizar en un procesador de dibujos o en el AUTOCAD, y posteriormente exportarlo al ARENA.
5. La corrida de la simulación se puede controlar de la misma forma que una videocasetera; es decir se puede correr y detener la simulación en cualquier momento, teniendo las opciones de pausar y adelantar.
6. El paquete ofrece un análisis de las variables del sistema; ya que tiene la capacidad de analizar tanto a los clientes como a los servidores, evaluando la capacidad de los servidores y del sistema, la longitud de las líneas de espera, el tiempo de proceso, el número de clientes en proceso y, además evalúa el número de replicas seleccionado.
7. En este simulador no se tienen que escribir los comandos, sino que se eligen por medio de figuras.
8. Se cuenta con ayuda interactiva en todo momento, ya que el sistema ofrece un tutorial.

9. La animación del modelo hace que el análisis sea muy agradable a la vista. El observar el movimiento de cada uno de los elementos del sistema, proporciona la posibilidad de analizar los puntos en los que se tienen cuellos de botella o en donde se tiene un cruce excesivo de traslados; ya que al tener la distribución real del sistema se pueden checar los pasillos, bandas o caminos en donde transitan los elementos en movimiento.

4.8 Selección de un lenguaje de simulación.

Es importante determinar el lenguaje de simulación que sirva para el fin que se está buscando; es decir, se tienen que establecer ciertos factores de comparación que harán decidir cual es el lenguaje que cumple con el rumbo que se le quiere dar a la investigación o proyecto. El fin que se busca, en este caso, es el de encontrar un paquete de simulación capaz de soportar modelos en los que se tenga un número de servidores relativamente grande, que no requiere un tiempo muy largo para aprender a manejarlo, que su manejo sea muy simple, que ofrezca buenos análisis del sistema y que sea apropiado para utilizarlo pedagógicamente; por lo cual se considera que los factores de comparación, que se utilizarán en este momento, son:

- A. Costo. Es importante tener en mente que para lograr un buen resultado en cualquier análisis no se debe escatimar en ningún esfuerzo, y esto incluye al costo ya que en este caso el precio que se paga al adquirir un paquete de simulación se debe de ver como una inversión, ya que se adquiere una herramienta muy potente en lo que se refiere al análisis de sistemas; sin embargo se debe considerar el presupuesto disponible antes de elegir cualquier camino de solución.
- B. Modo de programación. En muchas ocasiones resulta engorroso el hacer programas en lenguajes de propósito general o en lenguajes que su estructura requiere dar de alta muchos elementos para realizar alguna acción por lo que es conveniente tener una herramienta que en su estructura contemple el hecho de no ser muy complicado para entenderse.
- C. Facilidad para controlar la simulación. Existen simuladores en los que se cuenta con un ambiente de Windows, de tal manera que resulta mucho más cómodo el seleccionar una acción, que el dar de alta una serie de instrucciones para que el programa realice una acción.
- D. Visibilidad de la ejecución del modelo. Es mucho más atractivo y hasta cierto punto confortante el realizar trabajos en donde se puede animar lo que se esta realizando; es decir, se trabaja con mayor comodidad en un paquete con el que se puede ver como se mueven los elementos y asignarles ese movimiento, que al trabajar con paquetes en donde solo muestran el listado de los resultados.
- E. Presentación de los resultados. Es conveniente tener herramientas que no solo entregan una estructura ya establecida de resultados, puesto que en ocasiones es mejor cuando se visualizan en una gráfica o cuando se puede definir la secuencia de presentación de dichos resultados.

- F. Manuales. Uno de los factores para comprender el manejo de los paquetes de simulación, es la calidad de los manuales que se proporcionan; si es que se dan; así como también el soporte técnico que ofrecen.
- G. Dificultad para aprender a manejarlo. Es necesario tomar en cuenta que la persona que será la encargada de manejar el paquete, debe tener cierto grado de preparación, ya que por lo general los paquetes de programación contienen elementos técnicos o conceptos que se manejan con facilidad en el entorno para el cual están hechos. Sin embargo se debe de tener cuidado de los paquetes que aún para los expertos es difícil manejarlos rápidamente.
- H. Interacción con otros paquetes. Por lo general los paquetes que tienen un gran poder de análisis requieren ser auxiliados por otros paquetes; ya que el hecho de importar gráficos, datos o utilizar programas alternos para realizar con mayor eficiencia las operaciones, proporciona al paquete en cuestión mayor memoria o mayor velocidad para realizar su función.
- I. Capacidad para los modelos. La razón para invertir en un paquete está dada por el poder de analizar sistemas en los que posiblemente su complejidad sea el tener demasiados elementos o demasiados procesos, por lo que se torna un asunto delicado el observar la capacidad de análisis que tienen los paquetes.

Con base en los factores antes mencionados se construirá una tabla de decisión, para obtener un paquete de simulación con las características idóneas para ser utilizado con fines pedagógicos. A continuación se muestran los pasos para tomar la decisión:

Paso número uno: obtener la importancia de cada factor, para lo cual se necesita construir la siguiente tabla de comparación entre factores.

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Totales	Porcentaje
A	-	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2/36
B	1	-	1	1	0	0	1	1	0	5	5/36
C	1	0	-	1	0	0	0	1	0	3	3/36
D	1	0	0	-	0	0	1	1	0	3	3/36
E	1	1	1	1	-	1	1	1	0	7	7/36
F	0	1	1	1	0	-	1	1	1	6	6/36
G	0	0	1	0	0	0	-	1	1	3	3/36
H	1	0	0	0	0	0	0	-	0	1	1/36
I	1	1	1	1	1	0	0	1	-	6	6/36

Paso número dos: construir una tabla que muestre las características de cada lenguaje conforme a los factores establecidos.

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

Factores	SIMNET	GPSS	SIMSCRIPT	SLAM	SIMAN	ARENA
A (dólares)	\$233.68	\$275.31	\$199.95	\$306.15	\$271.95	\$295.00
B	Red de nodos y ramas	Diagramas de flujo	Líneas de instrucción	Líneas de instrucción y redes	Diagramas lógicos y líneas de instrucción	Objetos orientados y línea de flujo
C	Por un nodo se inicia y se termina	Con teclas para iniciar, pausar y terminar	Con líneas de instrucción	Botones en pantalla para iniciar, pausar y terminar	Botones en pantalla para iniciar, pausar y terminar	Botones en pantalla para iniciar, pausar y terminar y dar la velocidad de simulación.
D	Dibujos sencillos dan el movimiento del sistema	Dibujos para dar el movimiento del sistema y esquemas del entorno	No tiene animación	Dibujos para dar el movimiento del sistema y esquemas del entorno	Contiene y se pueden importar dibujos para movimiento, dibujar el entorno	Contiene y se pueden importar dibujos para el movimiento, dibujar e importar fotografías del entorno.
E	Estructura propia	Estructura propia	Configuración con líneas de instrucción	Estructura propia y gráficas	Estructura propia y gráficas	Estructura propia y opciones del tipo de gráfica
F	Manual y soporte técnico proporcionado con el paquete	Manual y soporte técnico proporcionado con el paquete, libros de manejo básico	Manual y soporte técnico proporcionado con el paquete	Manual y soporte técnico proporcionado con el paquete	Manual y soporte técnico proporcionado con el paquete, libro para principiantes	Manual y soporte técnico proporcionado con el paquete, libro para principiantes y página en Internet
G	Baja	Media	Alta	Media	Media	Baja
H	Fortran	Fortran y procesadores de imágenes	Fortran	Fortran, GERT, GASP y procesador de imágenes	Fortran y procesador de dibujos	Procesador de textos, dibujos, Fortran, C, Visual Basic
I	Simple	Complicados	Simple	Complicados	Complicados	Complicados

Paso número tres: formular una tabla de evaluación.

- Malo..... 1
- Regular..... 2
- Bueno..... 3
- Excelente..... 4

Paso número cuatro: evaluar cada una de las características con base a la tabla de evaluación del paso tres.

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

Factor	SIMNET	GPSS	SIMSCRIPT	SLAM	SIMAN	ARENA
A	2	2	2	1	2	2
B	2	3	1	2	3	4
C	2	3	2	3	3	4
D	2	3	1	3	3	4
E	3	3	2	3	4	4
F	2	4	2	3	4	4
G	3	2	1	2	2	3
H	2	3	2	3	3	4
I	2	4	2	4	4	4

Paso número cinco: multiplicar el porcentaje de cada factor, por cada uno de los valores asignados a las características, y posteriormente obtener la suma total para cada paquete de simulación.

Factor	SIMNET	GPSS	SIMSCRIPT	SLAM	SIMAN	ARENA
A	4/36	4/36	4/36	2/36	4/36	4/36
B	10/36	15/36	5/36	10/36	15/36	20/36
C	6/36	9/36	6/36	9/36	9/36	12/36
D	6/36	9/36	3/36	9/36	9/36	12/36
E	21/36	21/36	14/36	21/36	28/36	28/36
F	12/36	24/36	12/36	18/36	24/36	24/36
G	9/36	6/36	3/36	6/36	6/36	9/36
H	2/36	3/36	2/36	3/36	3/36	4/36
I	12/36	24/36	12/36	24/36	24/36	24/36
Totales	2.28	3.19	1.69	2.83	3.38	3.8

Paso número seis: al comparar los totales se observa que el paquete que obtuvo la puntuación mayor es el paquete ARENA, por lo que es el que se utilizará para realizar la propuesta de modelos. En el siguiente capítulo se dará la estructura básica para realizar modelos en el paquete ARENA, así como la forma de acceder a cada uno de los comandos que se estarán utilizando.

5.1 Introducción.

Como ya se mencionó en secciones anteriores, es importante que los futuros ingenieros industriales posean el manejo de la técnica de la simulación; y con ello enriquecer su desempeño profesional; por lo que se presenta una propuesta que tiene el objetivo de proporcionar los conocimientos básicos para realizar el análisis de los sistemas estocásticos por medio de simulación. Dicha propuesta consiste en implementar una serie de modelos para que los alumnos se familiaricen con la metodología que se utiliza para estudiar sistemas por medio de la simulación, así como también para darles un panorama general sobre el manejo de los paquetes de simulación; utilizando para esto el paquete de simulación ARENA.

Los modelos que se proponen, son pensados de tal forma que cubren los conocimientos esenciales para lograr un buen acercamiento de los alumnos hacia la técnica de simulación. El plan de modelos consiste primeramente en una introducción al paquete ARENA, en la cual se darán las bases para dar de alta un modelo general; y posteriormente se plantea una serie de modelos con su respectiva implementación en el paquete propuesto.

La forma en la que esta organizado el presente capítulo es la siguiente:

- Operación del sistema ARENA.
- Modelo de líneas de espera.
- Modelo de balanceo de líneas.
- Modelo de sistemas de inventarios.
- Modelo de red logística.
- Modelo de sistemas de manufactura.
- Modelo de inversión.
- Modelo de control de calidad.
- Modelo de pronósticos.

Para que la implantación de los modelos resulte ser lo más pedagógica posible, se recomienda que antes de dar los puntos mencionados con anterioridad, se ejercite a los alumnos con la siguiente secuencia de pasos; con el fin de que quede claro la forma en la que se tendrán que analizar los sistemas reales:

- Generación de números pseudoaleatorios mediante los generadores congruencial mixto y congruencial multiplicativo, es importante que se entienda la forma de generar números pseudoaleatorios y de que no se

- confundan estos con los números aleatorios; ya que la ambientación del sistema depende de que los números utilizados sean totalmente aleatorios.
- Manejo de pruebas estadísticas de aleatoriedad, es importante que los alumnos tengan presente la forma de validar los números pseudoaleatorios por medio de pruebas estadísticas, tales como: prueba de los promedios, de frecuencias, de distancias, etc; con el propósito de que puedan aceptar como aleatorios un conjunto de números y utilizarlos posteriormente en la generación de variables aleatorias.
 - Obtención de distribuciones de probabilidad mediante el ajuste de datos, los alumnos deben comprender la forma de recolección de datos; para establecer tiempos de observaciones y número de observaciones; además de practicar el ajuste de los datos a una distribución de probabilidad por medio de las prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de χ^2 .
 - Generación de variables aleatorias, una vez que se han establecido las distribuciones de probabilidad, se debe convertir estas en generadores de variables aleatorias; para lograr esto se utiliza el método de la transformada inversa y el método del rechazo. Posteriormente se utilizan los números pseudoaleatorios, validados con anterioridad, para introducirlos a la fórmula de los generadores de variables aleatorias obteniendo así variables que pueden comportarse de acuerdo con una distribución Uniforme, Exponencial, Normal, Erlang, Weibull ó χ^2 .

La razón de especificar lo anterior es porque la forma de dar de alta los modelos en los paquetes de simulación es por medio de describir el comportamiento de los elementos del sistema mediante variables aleatorias que siguen cierta distribución de probabilidad. Por otro lado, es importante verificar que los números pseudoaleatorios utilizados puedan ser considerados como aleatorios, ya que la concepción de un sistema estocástico depende de que los elementos del modelo se comporten estocásticamente; es decir que tengan un comportamiento aleatorio.

5.2 Operación del sistema ARENA.

La forma en la que se maneja el simulador resulta ser muy pedagógica, es decir, no se tiene que invertir un tiempo grande para poder manejar los comandos básicos y poder realizar los primeros análisis; pero no por esto el simulador es simple, sino que por el contrario el simulador aquí propuesto es uno de los más poderosos al analizar sistemas y su estructura amigable permite manejar todo su potencial de forma sencilla.

El paquete contiene una sección de ejemplos, con el fin de que al explorarlos se pueda observar la manera de dar de alta las entidades y las transacciones que estarán involucradas en el modelo. Como muestra de la potencia que se tiene al esquematizar el sistema se presenta la figura 5.2.1.

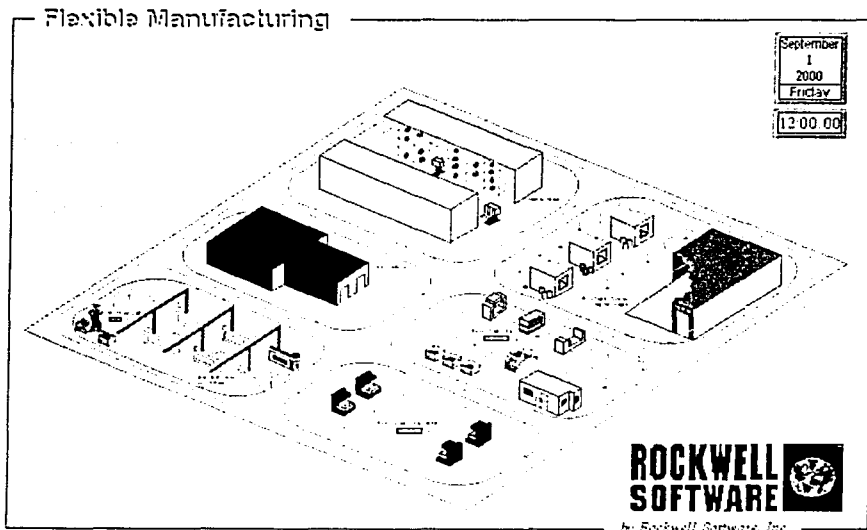


Figura 5.2.1. Esquema del modelo de un sistema de manufactura flexible.

Se puede observar un sistema de manufactura flexible en el que esta representado el flujo del material, los sistemas de transporte, los robots que llevan a cabo el proceso y los robots que manejan los inventarios. Es posible esquematizar completamente un sistema complejo, indicando por donde debe fluir el material, en donde debe ser procesado y en que parte debe ser almacenado; es importante señalar que se puede agrandar el esquema para permitir una mejor

observación de cada parte; también se pueden tener recuadros en los que se indique el día simulado y la hora, además de poder graficar el comportamiento de cada parte del sistema.

Al efectuar la corrida del modelo, se puede observar como se comporta cada parte de este, tal y como lo muestra la figura 5.2.2.

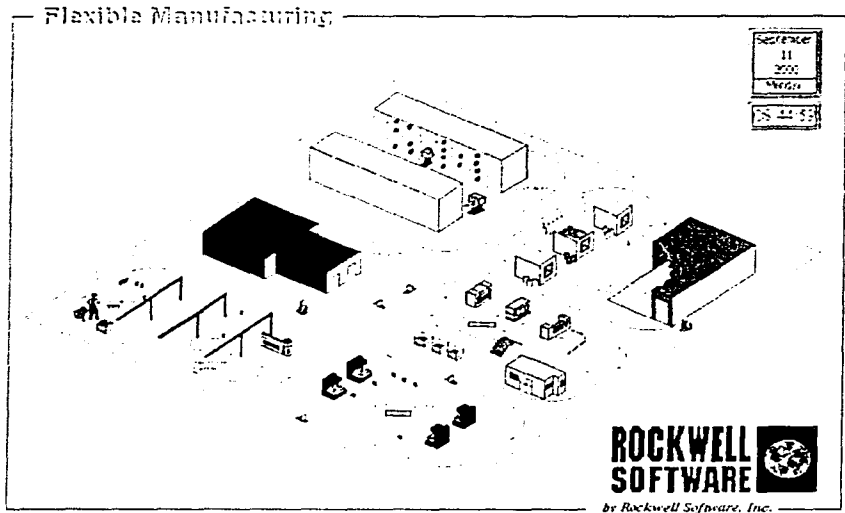


Figura 5.2.2. Corrida del modelo manufactura flexible.

Los vehículos guiados transportan y almacenan los materiales y productos tal y como lo llevarían a cabo en el sistema real, de igual manera se puede observar que el modelo indica el tiempo simulado en el reloj especificado; por la estructura de los dibujos y los colores se puede diferenciar fácilmente cada parte del sistema; por ejemplo: en la parte superior se tiene un almacén controlado por robots, los cuales depositan cada elemento en su casilla correspondiente y realizan también la tarea de cargar y descargar los carros guiados, por otra parte los carros guiados distribuyen los materiales por toda la planta y su camino esta marcado por líneas punteadas, mientras que las áreas de trabajo se encuentran delimitadas por líneas verdes.

También se puede encontrar un modelo de un banco, el cual contiene una sección de atención a clientes, dos cajeros, un cajero automático y diversas entradas y salidas. La corrida del modelo se muestra en la figura 5.2.3.

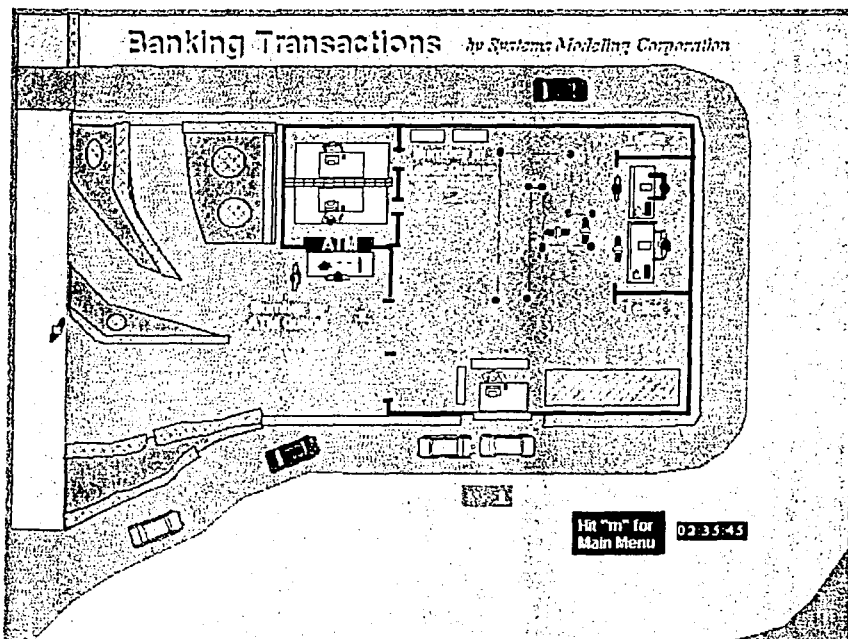


Figura 5.2.3. Corrida del modelo Transacciones de banco.

Se puede observar que en cada punto de análisis se colocaron contadores; los cuales indican la cantidad de clientes que han sido atendidos en las cajas, atención a clientes y en el cajero para automovilistas; se observa también que el modelo representa gráficamente el tiempo en espera de la fila ya que esta se incrementa conforme se da el arribo de cada uno de los clientes; ya sea en carro o caminando, se puede notar que es posible delimitar cada parte del sistema y que los elementos en movimiento solo toman el camino indicado.

Así se pueden seguir explorando los diferentes modelos que ya se tienen; para ilustrar este hecho se presenta la corrida de algunos de ellos:

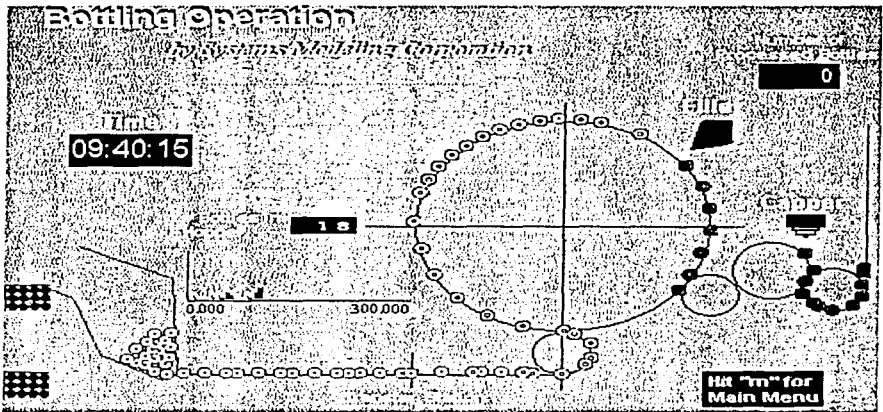


Figura 5.2.4. Corrida del modelo llenado de botellas.

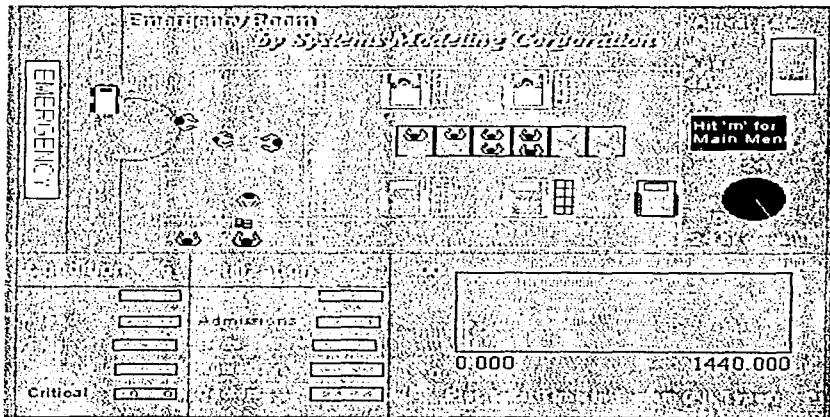


Figura 5.2.5. Corrida del modelo sala de emergencias.

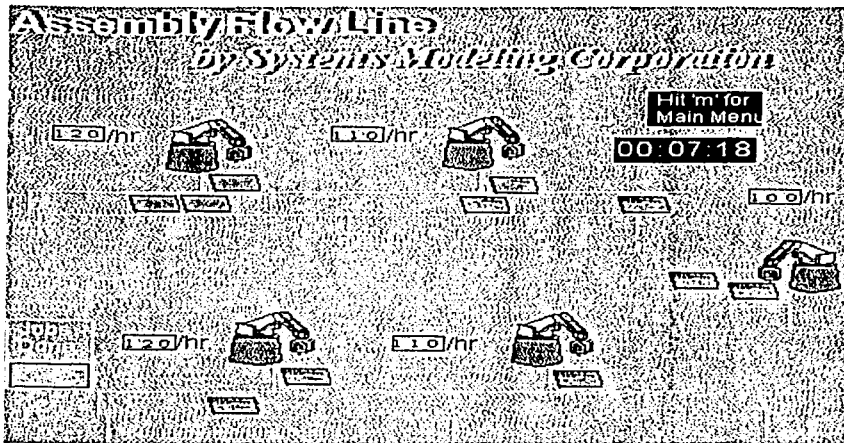


Figura 5.2.6. Corrida del modelo linea de ensamble.

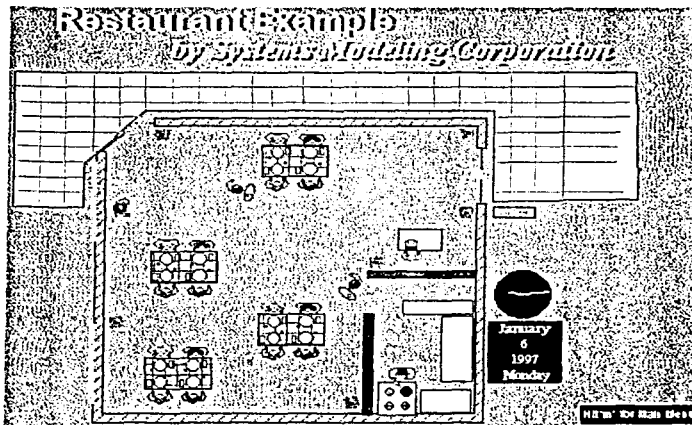


Figura 5.2.7. Corrida del modelo restaurant.

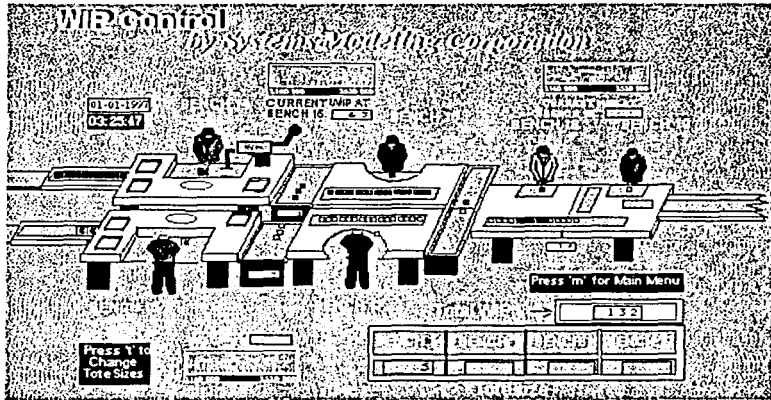


Figura 5.2.8. Corrida del modelo línea de

Para explicar la forma de dar de alta los modelos se presenta el siguiente caso:

Simulación de un proceso de ensamble.

En una fabrica se producen dos diferentes dispositivos electrónicos que deben estar dentro de un estuche metálico hecho por fundición y que debe tener un sello. Los dispositivos ya se encuentran en las áreas de trabajo, pero los estuches metálicos llegan a la zona de proceso de manera aleatoria. Debido a condiciones de diseño, los dispositivos se colocan dentro de dos estuches diferentes. Llamemos A al primero de esos estuches y B al segundo.

Los estuches tipo A llegan de acuerdo a una distribución exponencial con media de 5 minutos (uno a la vez) y los del tipo B llegan de acuerdo a una distribución exponencial con media de 30 minutos, pero además vienen en lotes de 4 piezas.

Posteriormente pasan a una preparación antes de que se introduzca el componente electrónico y se selle, la preparación para el tipo A tiene una distribución triangular (1,4,8) min., y el tipo B una distribución triangular (3,5,10) min.

El siguiente paso es el sellado en una máquina especial, junto con una inspección que determina si se necesita un retrabajo, para el tipo A, la distribución de los tiempos de sellado e inspección es triangular (1,3,4) min., en el otro caso la distribución es normal (media=2.4, desv.est.=0.5) min. Las estadísticas muestran que el 91% de las piezas alcanzan el nivel de calidad requerido y pueden mandarse a embarque.

El 9% restante pasa a una estación de retrabajo, con tiempos distribuidos exponencialmente con media de 0.75 hr, este tiempo incluye una segunda

inspección. De estos retrabajos, el 80% se pueden componer y enviarse a embarque, los demás se desechan.

Nota: A partir de las estaciones de preparación y hasta la última etapa (desecho o embarque); existe un tiempo de traslado de 2 minutos entre cada etapa.

La figura 5.2.9 ilustra el proceso:

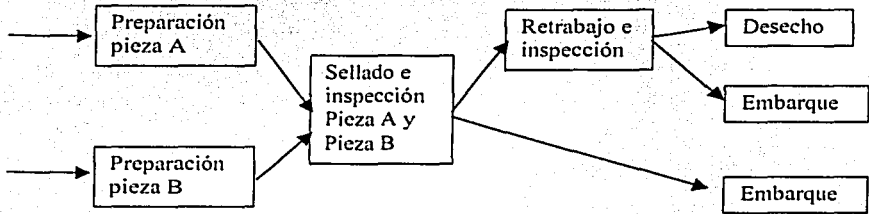


Figura 5.2.9

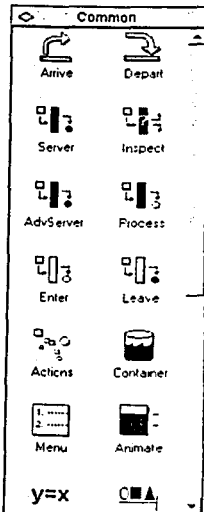


Figura 5.2.10

La forma de dar de alta los modelos es utilizando los iconos mostrados en la figura 5.2.10, siendo el Arrive los arribos (de los clientes) al sistema, el Server los servidores que darán servicio a los clientes, el Inspect un comando que nos permitirá dividir flujos, el Depart el que nos proporciona la salida (de los cliente) del sistema, el simulate el que provee la ambientación en tiempo simulado; da el número de réplicas y algunos datos generales del modelo. Por mencionar los más importantes.

El sistema queda representado en el paquete como lo muestra la figura 5.2.11.

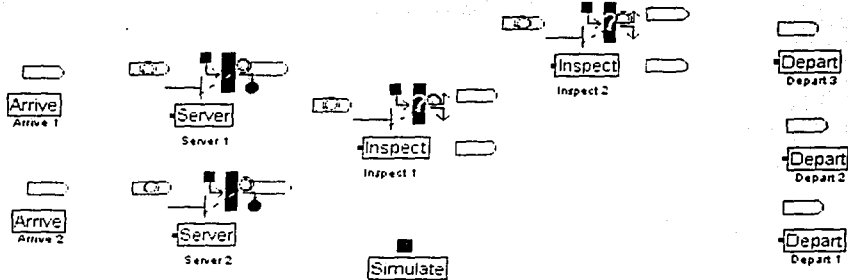


Figura 3.1
Figura 5.2.11. Esquema del modelo proceso de ensamble.

Primeramente se deben dar de alta los arribos de los estuches, y esto se lleva a cabo abriendo el comando mostrado en la figura 5.2.12.



Figura 5.2.12

Los datos que se proporcionan en esta sección son los que se muestran en la tabla siguiente:

Enter Data	
Station	Arribo A
Arrival Data	
Time Between	EXPO (5)
Mark Time Attribute	Tiempo Arribo
Leave Data	
Station	Prep A
Route Time	2

En esta parte se puede especificar; por medio del Batch Size; la manera en la que se lleva a cabo la llegada de los elementos al sistema, ya sea por lotes o de manera individual. En la parte del Time Between se puede especificar la distribución de probabilidad que marcara el comportamiento de las llegadas. Así como también se puede especificar el lugar a donde se deben dirigir los elementos que están llegando, esta parte se incorpora en el espacio de Station.

En este caso como en la inspección se tiene un tiempo de servicio, y en dicho comando no se puede especificar directamente, se tiene que dar de alta la información directamente en el arribo. La manera de hacerlo es abriendo Assign; de la pantalla activada; al hacer esto se identifica la pantalla de la figura 5.2.13.

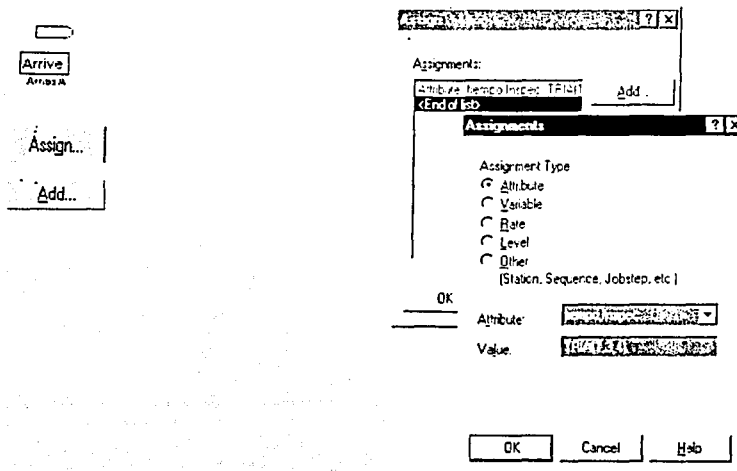


Figura 5.2.13

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

Al abrirse la pantalla de Assign se debe de pulsar el botón Add, para abrir la pantalla de asignaciones, en ella se selecciona el rubro de atributo y se llenan los espacios que se muestran a continuación:

Atribute	Tiempo Inspec
Value	TRIA(1,3,4)

El modulo del arribo de los estuches B se llena de manera similar; por lo que se omite esa parte; de igual manera se tiene que dar la asignación para el tiempo de sellado e inspección.

Una vez terminada esta tarea, el siguiente paso es dar de alta la operación de preparación (tanto para los estuches A, como para los estuches B); para lograr esto se tiene que seleccionar el icono que tiene por nombre Server, mostrado en la figura 5.2.14.

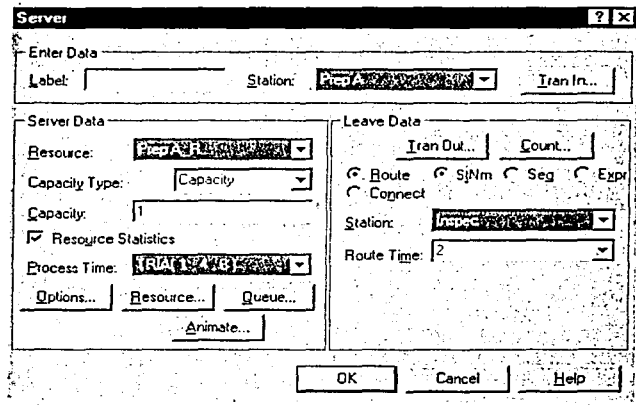
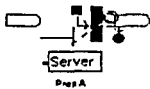


Figura 5.2.14

Una vez abierta esta ventana, sólo se requiere que se inserte la información contenida en la siguiente tabla:

Enter Data <u>Station</u>	Prep A
Server Data <u>Process Time</u>	TRIA(1,4,8)
Leave Data <u>Station</u>	Inspec
<u>Route Time</u>	2

La forma de dar de alta la preparación de los estuches B es similar a la que se dio para dar de alta la preparación de los estuches A; por lo que no se esquematiza; sólo basta con seguir los pasos señalados para los estuches A y colocar la información de la preparación de los estuches B.

El módulo que se mostrará a continuación es el de sellado e inspección para la pieza A y pieza B; para esto se utiliza el icono Inspec, y así tener acceso a la pantalla que muestra la figura 5.2.15.

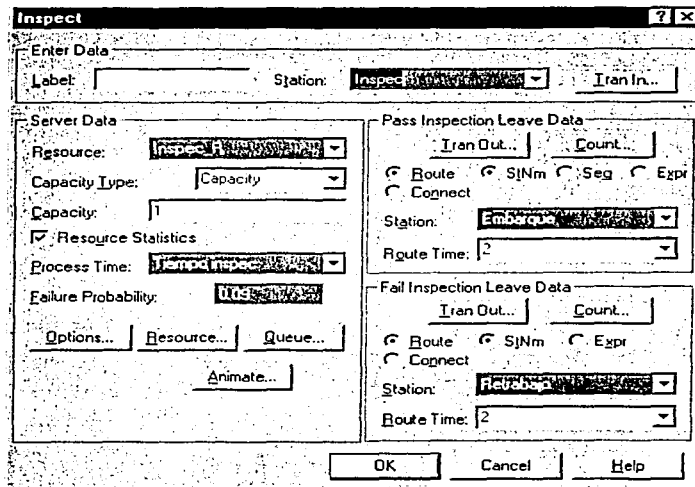


Figura 5.2.15

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

Con este comando se tiene la posibilidad de dividir el flujo que tiene nuestro sistema, ya que en este caso se tiene producto aceptado y producto rechazado se puede mostrar esta ventaja; los únicos casilleros que se tienen que llenar, para este ejemplo, son los que se muestran a continuación.

Enter Data	
Station	Inspeccion
Server Data	
Process Time	Tiempo inspeccion
Failure Probability	0.09
Pass Inspection Leave Data	
Station	Embarque
Route Time	2
Fail Inspection Leave Data	
Station	Retrabajo
Route Time	2

Hablando un poco de la forma en la que divide el flujo, se puede decir que dependiendo de la probabilidad de falla; que se le asigna a cada elemento que pasa por la inspección; se tiene un trato aleatorio a las entidades enviándolas por medio del módulo Pass y del modulo Fail a la posición final deseada.

La información para la segunda inspección se introduce de la misma forma, por lo que se espera que el alumno tenga la capacidad de llenar sólo la segunda inspección. Una vez que se tenga lleno el módulo de la siguiente inspección se procederá a dar de alta el módulo de embarque, para ello se utiliza el Depart; cuya pantalla se muestra en la figura 5.2.16.

0

Depart
Embarque

Depart

Enter Data

Label: _____

Station Station Set

Station... Iran In... Options...

Count

Individual Counter

Counter Set Member

None

Counter: Embarque_C

Increment: 1

Tally

Individual Tally

Tally Set Member

None

Tally: Embarque-Ta

Type of Statistics

Interval Between Expr

Attribute: Tiempo Arriba

OK Cancel Help

Figura 5.2.16

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

La función que tiene este comando es el de proporcionar la salida de los clientes, del sistema, y además poder tener la opción de colocar un contador que indique la cantidad de clientes que pasan por esa salida; al igual que los demás comandos la información que es necesario incorporar se muestra a continuación:

Enter Data <u>Station</u>	Embarque
Count <u>Individual Counter</u>	Seleccionarlo
Tally <u>Individual Tally</u>	Seleccionarlo
<u>Attribute</u>	Tiempo Arribo

El siguiente paso es llenar el comando titulado Simulate, en el cual se puede dar de alta el tiempo de simulación, el número de replicas, el titulo del proyecto, el nombre del analista, la fecha en la que se realizó el análisis, y otros datos generales; particularmente la importancia de este comando es que por medio de él se pueden seleccionar los elementos que estarán representando a los clientes y se podrá manipular la duración del tiempo real de la simulación. La figura 5.2.17 muestra el comando mencionado.



Simulate [?] [X]

Project

Title: Proceso de ensambla

Analyst: Uribe Vivian Carlos

Date: [] [] [] [] [] []

Replicate

Number of Replications: 1

Beginning Time: 00

Length of Replication: 2000

Terminating Condition:

Between Replications...

Initialize System

Initialize Statistics

Warm-Up Period: [] [] [] [] [] []

OK Cancel Help

Figura 5.2.17

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial


En el caso que se esta manejando, en este momento, solo es necesario proporcionar la información contenida en el cuadro:

Project	
Title	Proceso de ensamble
Analyst	Uribe Vivian Carlos
Replicate	
Length of Replication	2000

Con este paso se han terminado de dar de alta los elementos que estarán manipulando el comportamiento de los servidores, los clientes y las condiciones que darán la ambientación del sistema. Lo que resta es enseñarle al sistema la ruta que deberán de seguir los clientes del modelo, en este caso las ruta que seguirán los dos tipos de estuches; al dar de alta los servidores se dio la información de cual será el siguiente paso del proceso, pues bien, en esta sección se traza visualmente por donde tienen que llegar los clientes a ese segundo paso. Para este efecto se tiene en la pantalla principal del ARENA una pequeña ventana, en la cual se puede tener acceso a este comando, dicha ventana se muestra en la figura 5.2.18.



Figura 5.2.18

Para el caso en cuestión se utilizará el icono de ruta, el cual esta marcado como ; con esta acción puede seleccionar la modalidad para la conexión entre centros o en el área; esta función no tiene relevancia para nuestro caso, sin embargo en otros modelos es importante considerarlo; en la ventana se tiene que seleccionar Center y seleccionar Free Path. La figura 5.2.19 muestra este hecho.

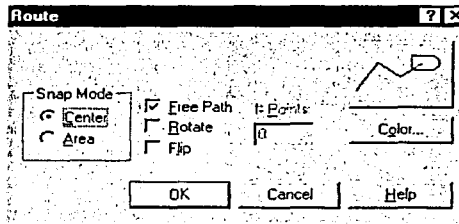


Figura 5.2.19

La acción antes señalada se tiene que repetir cuantas veces sea necesario, hasta terminar de conectar las entradas con los servidores, los servidores con las inspecciones, y las inspecciones con las salidas. El modelo final se muestra en la figura 5.2.20.

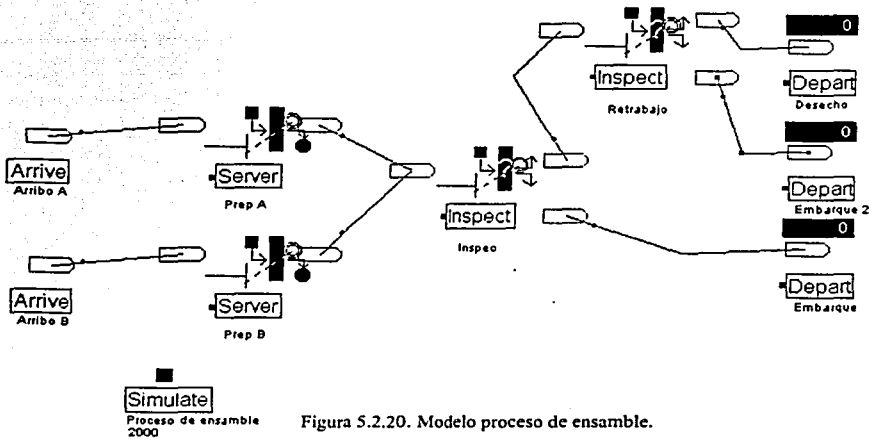



Figura 5.2.20. Modelo proceso de ensamble.

De esta manera se tiene el modelo completo, el sistema ARENA posee un compilador; el cual es conveniente utilizarlo para poder identificar un posible error en el llenado y construcción del modelo; por lo que se recomienda compilar los modelos antes de utilizarlos. La manera de checar el modelo es siguiendo la siguiente secuencia: Run/Check Model o pulsando el botón de checar . Una vez que el compilador acepta el modelo, todo esta listo para correr la simulación.

La corrida de la simulación se muestra en la figura 5.2.21.



Figura 5.2.21. Corrida del modelo proceso de

Al terminar la corrida, el paquete ofrece el análisis del sistema por medio del listado que se muestra en la figura 5.2.22.

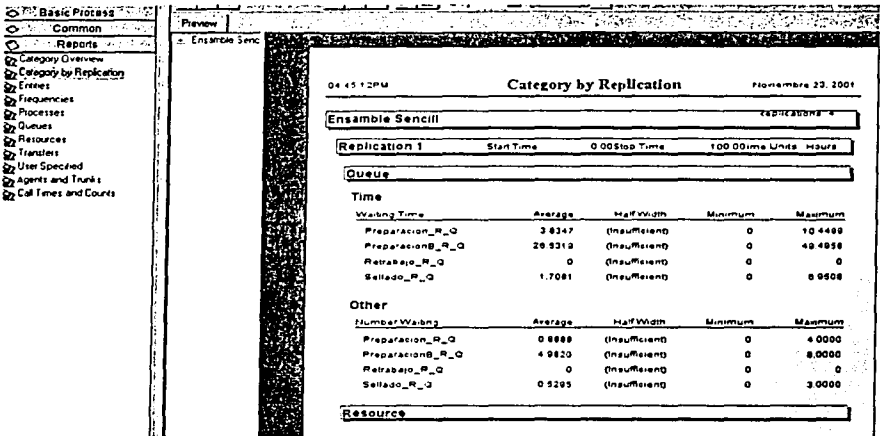


Figura 5.2.22. Listado del modelo proceso de ensamble.

En ella se puede observar que entrega la utilización de cada uno de los servidores, el tiempo de permanencia en la fila, la cantidad de cola en cada fila, es decir proporciona un análisis de lo que pasa en el sistema; por ejemplo se puede observar que en los resultados se tiene un apartado titulado tiempo de espera (Waiting Time) en el cual se aprecia que la preparación B es la que tiene el tiempo promedio de espera más alto por lo que se puede pensar que es la que tiene un mayor número de estuches en espera, dato que se corrobora al observar el apartado de número en espera (Number Waiting) ya que se observa que la preparación B es la que tiene el número más grande. Sobre esta información se puede interpretar un resultado, y sobre ese resultado se puede auxiliar la toma de decisiones. Cabe recordar que los resultados que arroja el paquete de simulación ARENA son concebidos con un intervalo de confianza del 95%. Se puede observar que en la columna titulada Half Width se tienen rubros marcados con Insufficient; la razón de esto es porque ARENA checa que la colección de datos sea suficiente para justificar cada uno de los resultados, para esto se requiere un mínimo de 320 observaciones en un tiempo de 5 unidades; y si no se cumplen esas condiciones aparece la marca Insufficient.

Con la ejecución de este pequeño caso se concluye la introducción al paquete de simulación ARENA, que como ya se mencionó, es el que se estará utilizando a lo largo de los modelos propuestos.

5.3 Modelo de líneas de espera.

Un sistema de líneas de espera es aquel en donde se tiene una serie de clientes (personas u objetos); que en fila; esperan ser atendidos por un servidor (persona o máquina). La línea de espera se considera como el efecto resultante de que la demanda de un servicio supere la capacidad de proporcionarlo.

Para tener una mejor comprensión de un sistema de líneas de espera, se muestra en la figura 5.3.1 el esquema básico de dicho proceso.

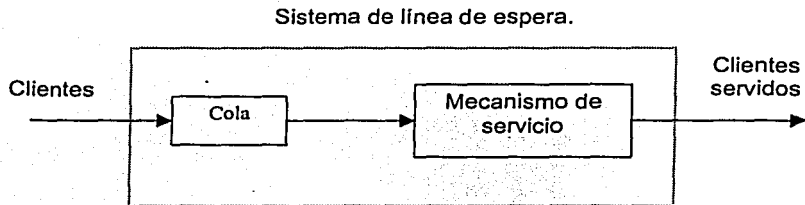


Figura 5.3.1. Esquema básico de sistemas de líneas de espera.

1. Los clientes son todas aquellas personas u objetos que requieren de algún servicio; ya sea para trasladarse o para ser transformados; y que además entran en forma aleatoria al sistema. Por ejemplo los usuarios de las autopistas, los usuarios de los centros comerciales o la materia prima requerida para algún proceso.
2. La cola es considerada como la fila, ya sea finita o infinita, en la que los clientes esperan ser atendidos.
 - La fila finita es aquella en la que sólo se permite un cierto número, o un número limitado, de clientes en la fila; como por ejemplo cuando en un proceso solo se permite un cierto tamaño de la fila en espera para entrar al proceso, y al llegar a ese límite se detiene la alimentación de material.
 - La fila infinita es aquella en la que no se limita el número de clientes que esperan ser atendidos; además se requiere que el sistema no limite la atención a dichos clientes, así como también el poder contener a todos los clientes. Como por ejemplo de este tipo de fila se tiene: La fila de las tortillerías, la fila de las taquillas de los cines, la fila de los automóviles en las casetas de cobro; en las autopistas; etc.
3. El mecanismo de servicio o los servidores son toda aquella persona u objeto que atiende a determinado cliente. Dependiendo del sistema los servidores pueden ser cajeros, máquinas, semáforos, casetas, etc.

4. Los clientes servidos son todas aquellas entidades que salen del sistema después de ser atendidos por los servidores.

Al analizar estos sistemas es recomendable clasificarlos; para tener un mejor control de la forma en que se trataran; por medio de la notación Kendall y Lee, la cual consiste en lo siguiente:

$$(a / b / c) (d / e / f)$$

donde:

a \Rightarrow Distribución de probabilidad del tiempo entre llegadas.

b \Rightarrow Distribución de probabilidad del tiempo de servicio.

Para llenar estas dos posiciones se utilizan los siguientes valores:

D: Distribución Constante GI: Distribución General Independiente

E: Distribución Erlang H: Distribución Hiperexponencial

G: Cualquier distribución M: Distribución exponencial

M: Distribución Poisson.

c \Rightarrow Número de servidores.

d \Rightarrow Orden de atención a clientes.

Para el orden de atención se tienen los siguientes valores:

FCFG \rightarrow Primeras entradas primeros servicios.

LCFS \rightarrow Últimas entradas primeros servicios.

SIRO \rightarrow Orden aleatorio.

PR \rightarrow En base a prioridades.

GD \rightarrow En forma general.

e \Rightarrow Número máximo de clientes que soporta el sistema en un mismo instante de tiempo.

f \Rightarrow Números de clientes potenciales del sistema de líneas de espera.

Para ilustrar el manejo de la nomenclatura Kendall y Lee se presentan los siguientes ejemplos:

- Sea un sistema de líneas de espera con una distribución Exponencial para el tiempo entre llegadas, una distribución Constante para el tiempo de servicio, el sistema cuenta con 3 servidores, el orden de atención a clientes es primeras entradas primeros servicios, el sistema soporta 20 clientes y por ultimo el sistema soporta 20 clientes potenciales; con estos datos la nomenclatura queda (M/D/3)(FCFS/20/20).

- Sea un sistema de líneas de espera con una distribución Exponencial para el tiempo entre llegadas, una distribución Poisson para el tiempo de servicio, se cuenta con un servidor, se da servicio a las últimas entradas, el sistema soporta a un número infinito de clientes, así como también es infinita la cantidad de clientes potenciales. Para este caso la nomenclatura es $(M/M/1)(LCFS/\infty/\infty)$.

Por ultimo cabe recordar que el objetivo de analizar estos sistemas es determinar que nivel de servicio, ya sea por cantidad de servidores o por su velocidad de atención, proporcionar para minimizar el costo del sistema; tomando en cuenta que el costo del sistema esta en función del costo de clientes (Cuantificación monetaria de la pérdida de tiempo al esperar recibir un servicio, o bien, la pérdida de clientes por abandono del sistema) y el costo de servicio (Dinero que hay que pagar por concepto de sueldos, salarios, energía, mantenimiento y depreciación del equipo). Por lo cual se debe asegurar el correcto análisis y la correcta solución a los sistemas para poder alcanzar el objetivo planteado.

Modelo propuesto.

Un parque de juegos mecánicos cuenta con 6 taquillas y 4 torniquetes de admisión al parque. El arribo a las taquillas es de acuerdo a una distribución Exponencial con media para la taquilla 1 de 0.9 minutos, para la taquilla 2 de 1.2 minutos, para la taquilla 3 de 1.1 minutos, para la taquilla 4 de 1.3 minutos, para la taquilla 5 de 1 minuto y para la taquilla 6 de 1.1 minutos. El tiempo que tardan los taquilleros en atender a las personas tiene un comportamiento Exponencial con media de 1.3 minutos. Se estima que ningún cliente deja la fila hasta ser atendido.

Una vez que las personas compraron sus boletos, el 40% de ellas pasan al departamento de paquetería a dejar sus maletas, y el 60% restante pasan directamente a los torniquetes; repartiéndose de igual manera entre los 4 torniquetes. En paquetería se atiende de acuerdo con una distribución Triangular con un mínimo de 1.2 minutos, una media de 2.2 minutos y un máximo de 3.2 minutos; una vez que las personas dejan sus paquetes se reparten equitativamente en los torniquetes de entrada. Los torniquetes funcionan de acuerdo a una distribución Exponencial con media de 0.5 minutos.

El sistema se encuentra representado en la figura 5.3.2.

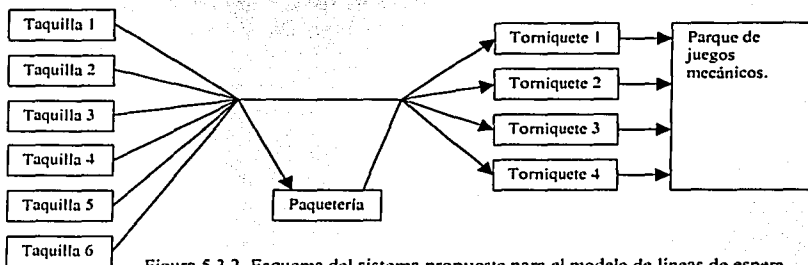


Figura 5.3.2. Esquema del sistema propuesto para el modelo de líneas de espera.

Al dar de alta el sistema, en el simulador ARENA, se puede obtener una distribución de los objetos en estudio similar a la distribución que se tiene en el sistema real; una vez que se ha incorporado el modelo y que se ha dado la información requerida, se verá como en la figura 5.3.3.

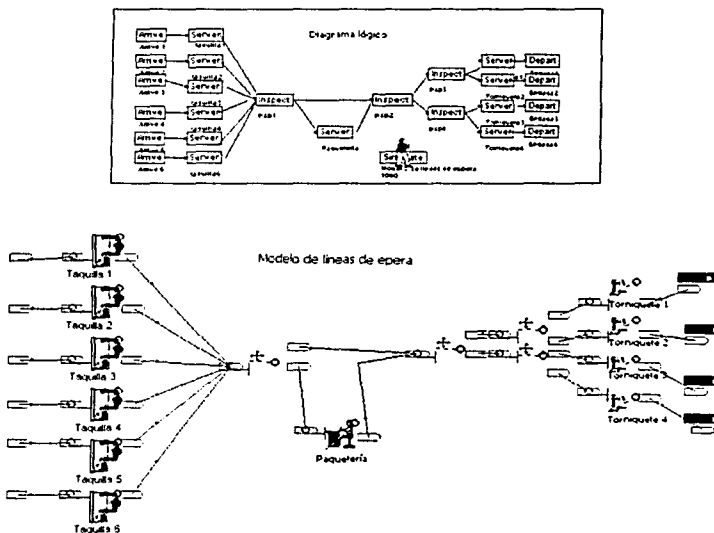


Figura 5.3.3. Modelo de líneas de espera.

Es posible empezar el análisis del sistema observando la ejecución del modelo, ya que se puede observar en que punto; de transición; se requiere tener mayor espacio, con el propósito de que la cantidad de clientes que transita por dichos puntos lo haga sin crearse conflictos entre ellos. Con ese fin se muestra la figura 5.3.4.

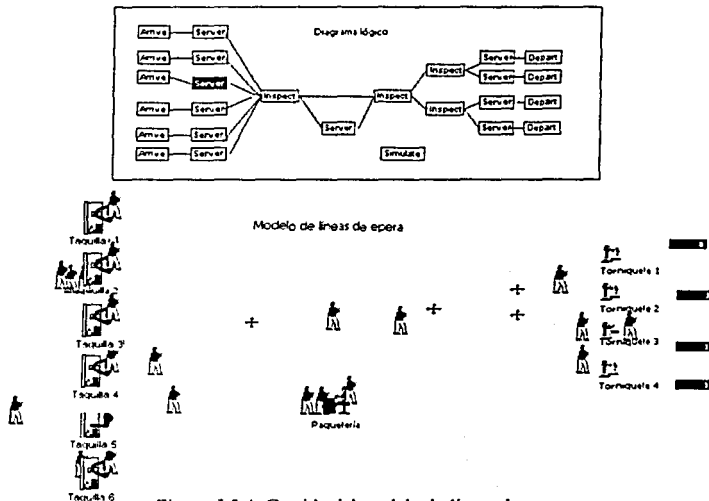


Figura 5.3.4. Corrida del modelo de líneas de espera.

Basándose en los resultados que se observan en la siguiente parte del reporte; proporcionado por el ARENA:

Waiting Time	Average
Insp1	0
Insp2	0
Insp3	0
Insp4	0
Paquetería	13.8862
taquilla1	5.6392
taquilla2	7.5905
taquilla3	0.4790
taquilla4	1.9615
taquilla5	4.1229
taquilla6	1.4838
Torniquete1	0.03481607
Torniquete2	0.03859953
Torniquete3	0.2711
Torniquete4	0.04065839

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

Se puede decir que en las taquillas el tiempo que se tienen que esperar los clientes para ser atendidos no es muy grande, considerando la afluencia que se esta dando en ese momento. En donde si se tiene un poco de problemas es en la paquetería ya que tanto el tiempo de espera (Waiting time), como la longitud promedio de la fila es muy grande (Number waiting); esto se puede observar en la siguiente tabla:

Number Waiting	Average
Insp1	0
Insp2	0
Insp3	0
Insp4	0
Paquetería	21.3501
taquilla1	6.3849
taquilla2	8.2433
taquilla3	0.2874
taquilla4	1.4221
taquilla5	4.4819
taquilla6	1.1878
Torniquete1	0.02088964
Torniquete2	0.02122974
Torniquete3	0.2199
Torniquete4	0.04529114

Posiblemente la razón de esto es que las personas que atienden la paquetería no son suficientes o no lo están haciendo con la rapidez requerida. Se observa también que los torniquetes de entrada no producen contratiempos mayores a los de retrasar el flujo unos segundos.

En la lista de resultados se puede observar también, que la paquetería es la que se encuentra el mayor tiempo activa, es decir, es la que tiene el índice más alto de utilización, posteriormente se encuentran las taquillas; las cuales se encuentran dentro de un rango estrecho de diferencia; y por último se encuentran los torniquetes de admisión, que como ya se menciona, no generan gran fila de entrada así como tampoco incrementan en gran medida el tiempo de entrada.

Utilization	Average
Insp1	0
Insp2	0
Insp3	0
Insp4	0
Paquetería	0.8915
taquilla1	0.8890
taquilla2	0.9424
taquilla3	0.5062
taquilla4	0.8312
taquilla5	0.8545
taquilla6	0.8068
Torniquete1	0.2293
Torniquete2	0.1835
Torniquete3	0.3557
Torniquete4	0.2139

En general se puede decir que la parte que crea conflicto es la de paquetería ya que es la zona en la que no deja de haber fila esperando y en la que mayor tiempo se esperan las persona para ser atendidas.

5.4 Modelo de balanceo de líneas.

El balanceo de la línea de ensamble va asociado con una distribución del producto en el cual los productos son elaborados a medida que pasan por una línea de centros de trabajo. Los tiempos para realizar los elementos se derivan de los estudios de medición del trabajo. El periodo permitido para determinar las operaciones en cada estación se determina por la velocidad de la línea de ensamble. Todas las estaciones de trabajo comparten el mismo tiempo de ciclo permitido. Se crea tiempo ocioso o flotante para una estación cuando el trabajo que tiene asignado requiere menos tiempo que el establecido para el ciclo. El objetivo del balanceo de la línea es reducir el tiempo ocioso al mismo tiempo que se asignan las operaciones a las estaciones de trabajo de acuerdo con un orden sucesivo tecnológico determinado de antemano. Desde un punto de vista teórico, se logra un equilibrio perfecto cuando las asignaciones no dejan tiempo ocioso.

Los problemas del balanceo de la línea han recibido mucha atención, quizá más de la que justifica el predominio de las líneas de ensamble. Algunas técnicas dan soluciones exactas para los supuestos dados; otras fueron diseñadas para dar soluciones aproximadas con base en consideraciones prácticas. El interés no debe concentrarse exclusivamente en lograr un equilibrio perfecto, sino en obtener distribuciones y flujo óptimos en relación con el resto de las operaciones de producción.

Tomando en cuenta la figura 5.4.1.

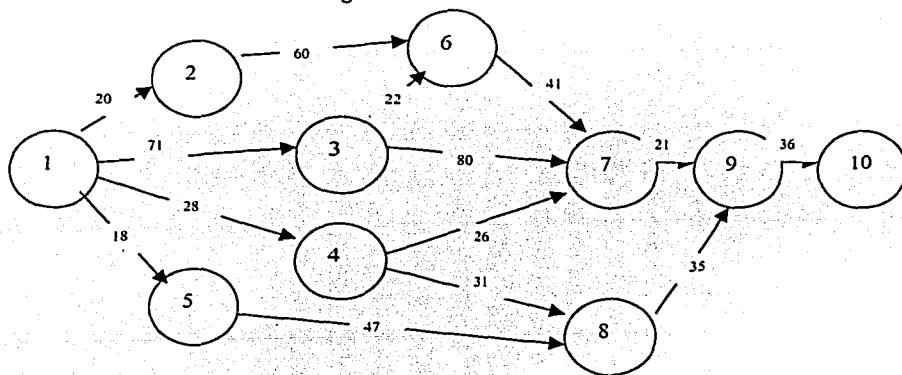


Figura 5.4.1. Red para balanceo de líneas.

Se tiene una red de flechas que representa el orden de las operaciones de fabricación de un producto. La duración de cada operación, o sea la suma de sus elementos de trabajo, se indica debajo de su flecha. La red completa del producto muestra el orden de la producción, desde las materias primas y las partes hasta el trabajo terminado.

La asignación de operaciones a las estaciones de trabajo se lleva a cabo en forma directa. Una hoja de asignación preliminar distribuye las operaciones al número conveniente de estaciones de trabajo de conformidad con restricciones del orden sucesivo de la red. Las operaciones que llevan más tiempo y tienen los tiempos de iniciación más próximos se asignan primero. Las restricciones especiales, por ejemplo la asignación de ciertas operaciones a una sola estación, requieren vigilancia adicional. El registro se mejora marcando las flechas de operación de la red a medida que se anotan en la hoja de asignaciones.

El método de balanceo de la línea que se describió no se puede perfeccionar en forma matemática. Depende más del ingenio y el buen juicio que de las técnicas de análisis. Su validez se pone de manifiesto si se tiene en cuenta la naturaleza dinámica de una línea de producción. El orden sucesivo de las operaciones raramente varía, pero los tiempos están lejos de ser constantes. El rendimiento de las operaciones es modulado en forma continua por el entusiasmo, el estado de salud y las condiciones sociales. El flujo fluctuante entre estaciones implica que los operadores tienen que cooperar para equilibrar internamente el trabajo de unos y otros con el ritmo de la línea de ensamble. El comportamiento humano frustra la formulación exacta; pero sigue siendo un factor importante en el equilibrio efectivo de la línea. Tal vez la reducción del tiempo ocioso es parte de las condiciones que maximizan la eficiencia individual y colectiva de las personas.

Modelo propuesto.

Cierta empresa se dedica a la elaboración de muebles de madera. Una de sus líneas de producción es la elaboración de recamaras, la cual esta constituida de 2 buros, cabecera y tocador; la cual será utilizada para realizar el análisis.

La línea de producción esta constituida por la zona de corte, zona de pulido, zona de armado y zona de acabado, además de algunas inspecciones. La lógica del proceso se muestra en la figura 5.4.2.

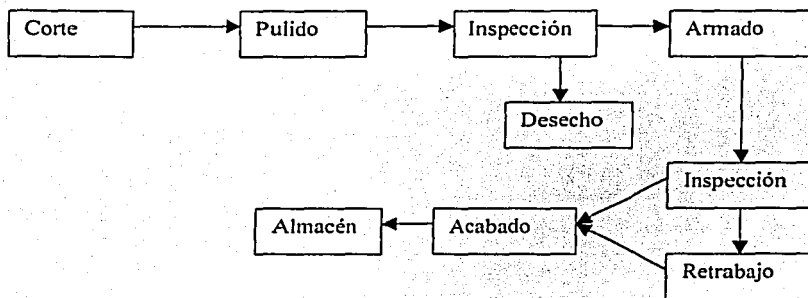


Figura 5.4.2. Diagrama de línea de producción propuesta.

Se cuenta con 2 cortadores que en promedio elaboran 3 recamaras cada 180 min., cada uno; para pulir se tienen 3 personas que realizan su trabajo con 2 recamar cada 120 min., cada una, debido a que ellas mismas pulen en las demás líneas. Posteriormente las piezas son inspeccionadas en donde el 10% de las piezas se van a desecho y el 90% restante pasan a armado; se considera que la inspección no consume tiempo. En el armado se tiene la capacidad de hacer 6 recamaras cada 180 min., posteriormente se tiene una inspección, en donde se separan las recamas malas para un retrabajo, y las buenas pasan directamente al acabado; la inspección no consume tiempo y el porcentaje de recamas con destino a retrabajo es del 30%. En el retrabajo se tiene a una persona que procesa una recamara cada 180 min., la cual una vez que se arregla se transporta a acabado. En acabado se tiene a dos personas que en conjunto terminan 5 recamaras cada 180 min., las recamaras terminadas se llevan a un almacén.

Nota: el tiempo estimado en cada transporte es de 1 minuto, y se recomienda simular 2000 minutos, corriendo 4 replicas.

Al incorporar los datos en el paquete de computo, se tiene un modelo como el de la figura 5.4.3.

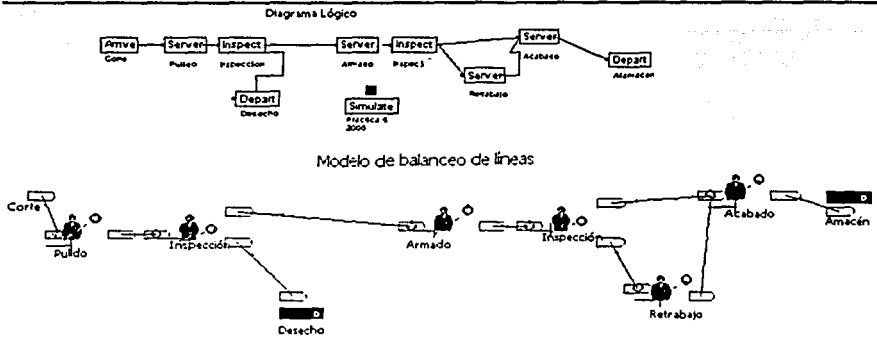


Figura 5.4.3. Modelo de balanceo de líneas.

Al observar la corrida del modelo ya podemos darnos cuenta de los lugares en los que se está teniendo un flujo grande de material y poder intuir en que partes se puede llegar a tener algún cuello de botella o en donde se esta propenso a tener una restricción de espacio. Por lo antes descrito se presenta la corrida del modelo en la figura 5.4.4.

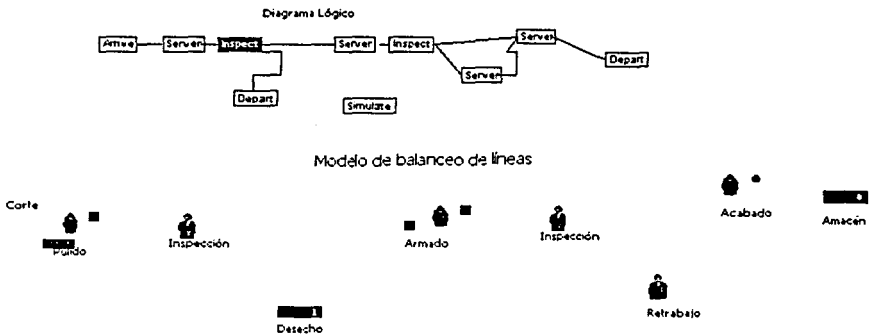


Figura 5.4.4. Corrida del modelo de balanceo de líneas.

Tomando como base el resultado que proporciona el simulador ARENA:

Waiting Time	Average
Acabado	0
Armado	0
Inspec3	0
Inspección	0
Pulido	282.35
Retrabajo	128.57
Number Waiting	Average
Acabado	0
Armado	0
Inspec3	0
Inspección	0
Pulido	9.8295
Retrabajo	0.6450

Se puede decir que la estación de pulido es la que tiene mayor número de piezas en espera y es la que se tarda mayor tiempo para realizar su proceso. También es posible darnos cuenta de que es la que permanece mayor tiempo activa; es decir, es la que tiene el índice más alto de utilización, por lo que llega a retardar a las demás estaciones. Se puede ver que la estación en cuestión es la que produce mayor número de inventario.

Utilization	Average
Acabado	0.3127
Armado	0.6343
Inspec3	0
Inspección	0
Pulido	0.9995
Retrabajo	0.6075

Se puede ver que la razón, por la que la estación de pulido este tan mal, es que esas personas no sólo se dedican a pulir las piezas de ese tipo de mueble, sino que también pulen las piezas que se utilizan para los demás muebles, por lo que es necesario poner más personas que realicen ese trabajo. En la medida que se disminuya el tiempo de proceso para el pulido, se podrá hacer más eficiente la línea; es decir estará más balanceada. Una vez que el tiempo de proceso en pulido se reduzca, se reducirá también el tiempo ciclo para el producto, haciendo así que las demás estaciones entren en un ritmo mayor al que han llevado, por lo que su índice de ocupación se elevará; haciendo que el tiempo máquina no se desperdicie.

5.5 Modelo de sistemas de inventarios.

El estudio de los inventarios se puede resumir en tres grandes pasos:

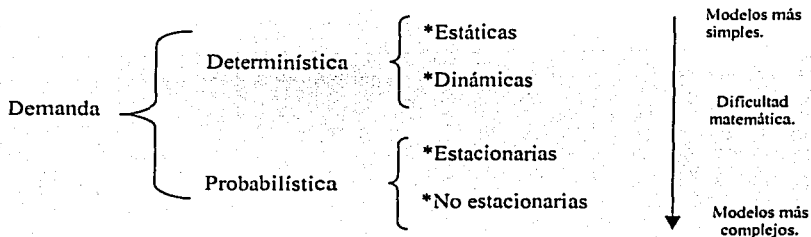
1. Formulación de un modelo matemático que describe el comportamiento del sistema.
2. Determinación de una política óptima de inventarios con base en el modelo matemático (cuándo reabastecer el inventario y cuantas unidades ordenar).
3. Registrar los niveles de inventario y retroalimentar el modelo.

A lo que se quiere llegar, con un estudio de inventarios, es implantar una política de inventarios que permita solucionar las siguientes cuestiones:

- Y ¿Qué cantidad de artículos deben pedirse?
- Y ¿Cuándo deben pedirse?

Teniendo en cuenta que la cantidad de pedido representa la cantidad óptima que debe ordenarse cada vez que se haga un pedido, la cual puede variar con el tiempo. Y la cuestión de ¿Cuándo debe pedirse? Se refiere a que se puede hacer un nuevo pedido con cierta cantidad especificada de artículos, en periodos de tiempo iguales, o si al momento en el que se requiere ordenar se coloca el nuevo pedido por sólo la cantidad necesaria, para ese momento.

Para el estudio de los inventarios se cuenta con la siguiente clasificación de los modelos de inventarios; la cual se basa en el tipo de demanda:



Para ilustrar la forma en la que se tratan los sistemas de inventarios determinísticos, se presenta el modelo básico (también conocido como Modelo de lote económico o Modelo de cantidad económica a ordenar) el cual es denotado por las siguientes siglas: OEQ.

Primeramente se trata el modelo en donde no se permiten faltantes, el cual tiene un comportamiento como el que se muestra en la figura 5.5.1.

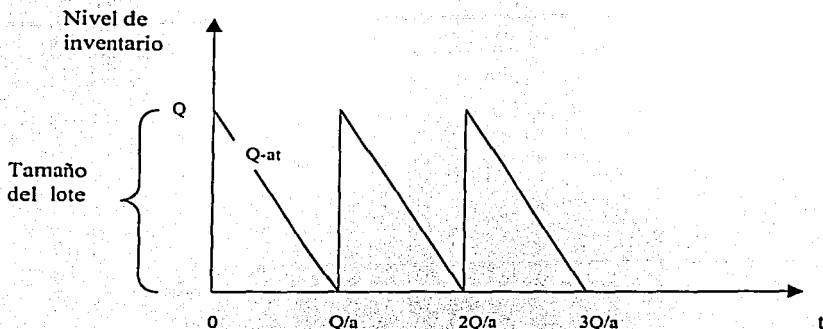


Figura 5.5.1. Gráfica del modelo sin faltantes.

Dicho modelo se rige por las siguientes ecuaciones:

Longitud del ciclo = $hQ/2$

Costo por ciclo de producción a ordenar = $k+CQ$

Nivel de inventario promedio = $Q/2$

Costo del inventario promedio = $hQ/2$

Costo de mantener el inventario por ciclo = $(hQ^2)/(2a)$

Costo total por ciclo = $k+CQ+((hQ^2)/(2a))$

Cantidad óptima a ordenar: $Q^* = \sqrt{(2ak)/h}$

Tiempo óptimo para pedir: $T^* = \sqrt{(2k)/ah}$

Donde:

- ✓ Q es la cantidad a ordenar
- ✓ a es la demanda
- ✓ k es el costo de preparación para producir u ordenar un lote.
- ✓ c es el costo de producir o comprar una unidad.
- ✓ h es el costo de mantener el inventario por unidad de tiempo.

Para el caso en donde se permiten faltantes, se considera la figura 5.5.2.

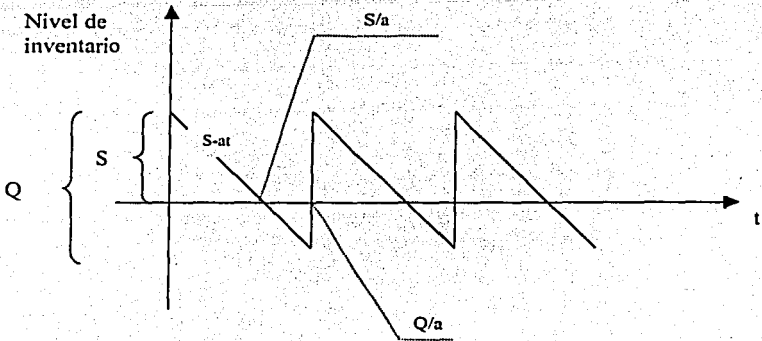


Figura 5.5.2. Gráfica del modelo con faltantes.

Donde:

- P es el costo por faltante por cada unidad de demanda insatisfecha por unidad de tiempo.
- S es el nivel de inventario justo después de recibir un lote de Q unidades.
- Q-S es el faltante en inventario justo antes de recibir un lote de Q unidades.

Con este modelo los parámetros que rigen al sistema son:

Cantidad óptima a ordenar: $Q^* = \sqrt{((2ak(h+P))/Ph)}$

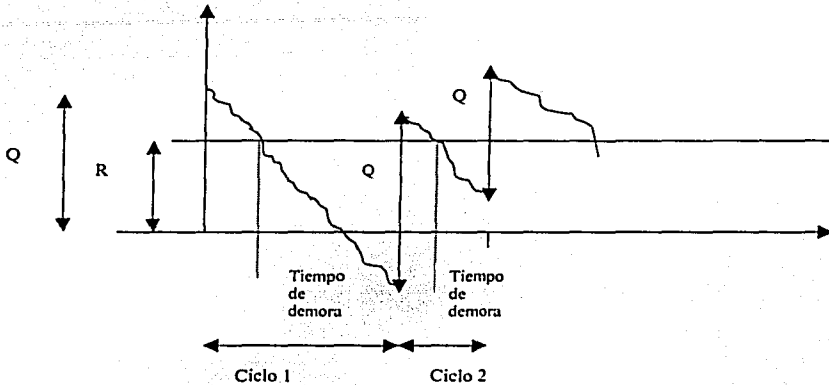
Nivel de inventario: $S^* = \sqrt{((2akP)/(h(P+h)))}$

Longitud Óptima del ciclo: $T^* = Q^*/a$

Faltante máximo: $Q^* - S^* = (\sqrt{((2ak)/P)}) \cdot (\sqrt{(h/(P+h))})$

En lo que se refiere a los sistemas probabilísticos se tiene el camino de analizarlos por medio del modelo de revisión continua, en el cual se revisa continuamente el inventario y un pedido Q se coloca cuando el nivel del inventario llega a un punto de reorden R. El objetivo que se persigue; con estos modelos; es determinar los valores óptimos de Q y R, que minimicen los costos esperados de inventarios por unidad de tiempo.

Las fluctuaciones del inventario se muestran en la figura 5.5.3.



El ciclo es el periodo entre 2 llegadas consecutivas de pedidos.

Figura 5.5.3. Fluctuaciones del inventario.

Para analizar estos modelos se manejan las siguientes hipótesis:

1. El tiempo de pedido entre la colocación de un pedido y su recepción es estocástico.
2. La demanda que no se satisface durante la demora, se deja pendiente para ser satisfecha en otros pedidos.
3. La distribución de la demanda del tiempo en que esta ocurre es independiente del tiempo en que esta ocurre.
4. No existe más de un pedido sobresaliente a la vez.

Modelo propuesto.

En una empresa de veladoras se ha observado que tiene un volumen considerable de inventario en proceso, en su línea de velas y veladoras a base de parafina líquida. Dicha empresa requiere saber cuanto material se tiene estancado en cada almacén temporal y por cuanto tiempo; con el propósito de que sirva de base para modificaciones futuras; los datos presentados para analizar el caso son los siguientes:

En la línea de veladoras y velas a base de parafina líquida; se cuenta con un proceso semi-automático para controlar el llenado de los moldes, el enfriamiento de la parafina y la extracción del producto. Los procesos antes mencionados arrojan 5 velas cada minuto, y 3 veladoras cada 1.5 minutos.

Los lotes de velas se llevan a una inspección, en donde el inspector se tarda 1 minuto en revisar las velas; se estima que el 5% de las velas son rechazadas. Las velas que pasan la inspección son transportadas, por medio de bandas, a la zona de empaque, la cual cuenta con 1 operador que tiene la función de colocar 5 velas, cada 1.5 minutos, en sus respectivas cajas. Por otro lado las velas rechazadas son llevadas a fundición para ser alimentadas a los contenedores de parafina líquida.

Los lotes de veladoras son transportadas a una inspección, la cual tiene una duración de 1 minuto por veladora, se estima que se rechaza el 4% de las veladoras. Las veladoras que pasan la inspección son transportadas, por medio de bandas, a la zona de empaque, la cual cuenta con 2 empacadores que colocan en conjunto 16 veladoras en cada caja, en un tiempo de 5 minutos. Las veladoras rechazadas son transportadas a la zona de fundición, para incorporarlas a los contenedores de parafina líquida.

Nota: El tiempo de cada transporte es de 1 minuto.

Al incorporar el modelo al sistema ARENA, este queda como se muestra en la figura 5.5.4.

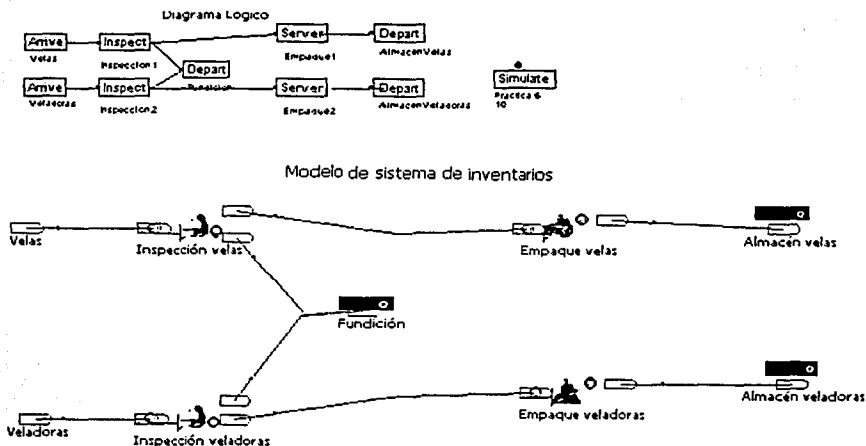


Figura 5.5.4. Modelo de sistema de inventarios.

La corrida de la simulación se ve como en la figura 5.5.5.

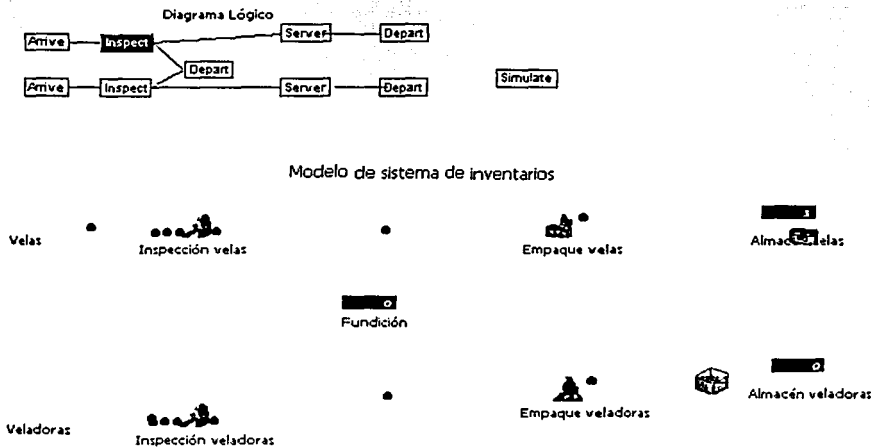


Figura 5.5.5. Corrida del modelo de sistema de inventarios.

Tomando los resultados proporcionados por el simulador ARENA:

Number Waiting	Average
Empaque1	0
Empaque2	0
Inspeccion1	18.0000
Inspeccion2	4.9500

Utilization	Average
Empaque1	0.2000
Empaque2	0.1563
Inspeccion1	0.9000
Inspección2	0.9000

Se puede decir que las inspecciones son las que producen un volumen alto de inventario; en especial la inspección de velas; este resultado se puede comprobar al ver el dato de la utilización de cada estación, ya que muestra que las dos inspecciones tienen un índice muy alto de utilización. Con lo que se puede decir que es necesario capacitar más a los inspectores para que realicen con mayor rapidez su trabajo, ya que retrasan el lote para empaque.

En las etapas de empaque; tanto de velas como de veladoras; también se producen algunos almacenes temporales, pero ese echo dura un lapso de tiempo corto; ya que en lo que sale el nuevo lote, el volumen del inventario disminuye.

5.6 Modelo de red logística.

Los vehículos de entrega se usan con gran libertad, tanto dentro de los grandes complejos como para recolectar y entregar mercancías. Con frecuencia, el costo de este transporte es elevado, pero esto no se reconoce o bien se supone que es muy difícil de evaluar. Muchas compañías celebran contratos con compañías especializadas de transporte, y esto tiene la doble ventaja de relevar a la gerencia de una tarea con la que no esta a gusto y para la que tiene poca destreza, así como de producir una cifra de costo conocida.

Si una compañía decide emplear su propio transporte motorizado, tiene que estudiar lo siguiente:

- Utilización. El estudio del trabajo aplicado a la operación de vehículos permite mejorar métodos y desarrollar tiempos estándares para carga, transporte y descarga. A partir de estos estándares, hay que desarrollar rutas con anticipación, por parte del gerente de transporte, tendientes a reducir el costo total. Aquí el éxito depende de la habilidad de:
 1. mejorar los métodos de "giro" por medio de estudios de manejo de materiales.
 2. escoger las rutas de distancia / tiempo mínimos.
 3. amalgamar cargas.
- Operarios. La supervisión física de los operarios o chóferes es prácticamente imposible, y es por este aspecto que es atractivo para muchos operarios. Esto no sugiere que los operarios de camión sean menos disciplinados que otros empleados: sin embargo, los factores de pérdida que serían apreciados por la supervisión interna podrán pasarse por alto. Estos comprenden tiempos excesivos de depósito, espera de la descarga de las mercancías o de la carga y tiempos de espera, cuando el operario con su vehículo está en espera para entrar al punto de entrega. Para reducir tales pérdidas sin afectar la moral ni restringir la iniciativa, se requiere de sistemas de control cuidadosamente diseñados e inteligibles basados en los estándares antes mencionados.
- Mantenimiento de vehículos. Es necesario contar con un buen sistema de mantenimiento preventivo, y si el volumen lo justifica, puede existir un taller interno de mantenimiento. La administración de este taller ocasiona grandes problemas si el supervisor ha de evitar la pérdida de tiempo en la reparación de automóviles particulares. Para evitar tener una amplia variedad de refacciones, los vehículos de la flotilla tienen que ser de igual marca. El grado tanto de estandarización como de especialización que existe dentro de la industria automotriz, junto con el gran número de talleres

de mantenimiento bien equipados, sugiere que el mantenimiento subcontratado tiene posibilidades de ser mucho más eficaz y barato que el mantenimiento interno.

- Diseño de las áreas de carga y descarga. Hay valor en un camión de transporte sólo cuando está realmente moviendo materiales y no cuando está parado. La distribución del área de carga y descarga y del aprovisionamiento de la grúa apropiada, así como de los malacates y transportadores, pueden reducir a menudo el tiempo de viaje redondo y reducir el tiempo de espera.
- Restricciones penalizables. Las operaciones de vehículos de transporte está sujeta a muchas restricciones que tienen su origen en la legislación. Un cambio en el peso transportado máximo autorizado, en la longitud máxima permitida, en el máximo de horas de operación permitido o en los requisitos mínimos de seguro, pueden tener efectos sustanciales en el costo total.

Modelo propuesto.

Se cuenta con una red de distribución para una cierta fábrica; la cual fabrica 2 tipos de piezas mecánicas; las piezas se distribuyen a dos almacenes temporales (cada tipo de piezas a un solo almacén), de donde son cubiertas las demandas de los clientes. El esquema, contenido en la figura 5.6.1, muestra la disposición de los elementos de este sistema.

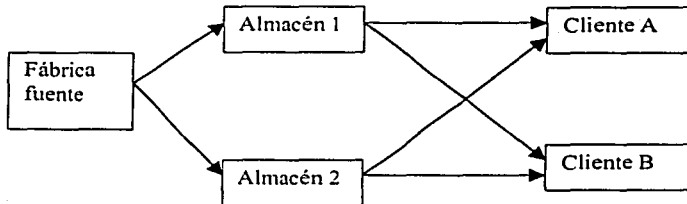


Figura 5.6.1. Esquema del modelo de red logística.

La fábrica fuente arroja piezas tipo 1 de acuerdo a una distribución exponencial con media de 4 minutos y piezas de tipo 2 de acuerdo a una distribución exponencial con media de 3.5 minutos. De las cuales las piezas 1 son llevadas al almacén 1; con un tiempo de transporte de 5 minutos y en lotes de 6 piezas; las piezas 2 son llevadas al almacén 2 con tiempo de transporte de 6 minutos; en lotes de 8 piezas.

Se tienen 2 tipos de clientes, los ubicados en la zona A y los ubicados en la zona B. Los clientes le piden piezas al almacén 1 de acuerdo a una distribución de probabilidad Triangular (4,7,10), y en lotes de 3 piezas; el 70% de este pedido son para los clientes A, y el 30% restante son para los clientes B. El tiempo de

transportar la mercancía desde el almacén 1 hasta los clientes A es de 2 minutos, mientras que para transportar las piezas a los clientes B es de 5 minutos.

Los clientes le piden piezas al almacén 2 de acuerdo a una distribución de probabilidad Triangular (5,9,12), en lotes de 4 piezas; de los cuales el 65% son para los clientes B y el 35% restante es para los clientes A. El tiempo para transportar las piezas desde el almacén 2 hasta los clientes A se estima de 3 minutos, mientras que para transportar las piezas hasta los clientes B se estima de 1 minuto.

Una vez que el modelo se haya dado de alta, en el simulador ARENA, se verá como en la figura 5.6.2.

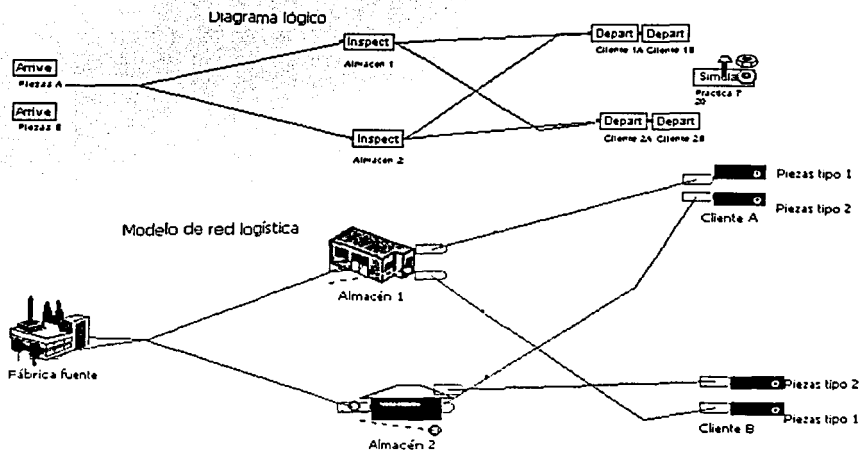


Figura 5.6.2. Modelo de red logística.

El flujo de cada uno de los elementos del sistema se puede observar al ejecutar la simulación, como se muestra en la figura 5.6.3.

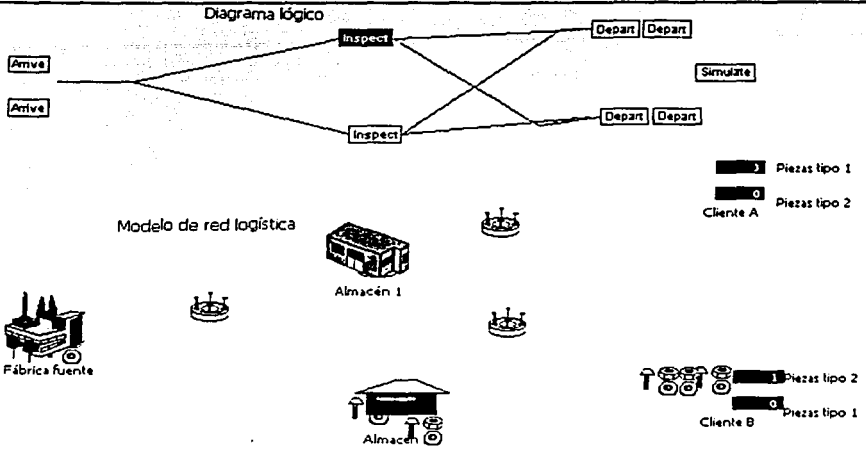


Figura 5.6.3. Corrida del modelo de red logística.

En los resultados que proporciona el simulador ARENA:

Waiting Time	Average
Almacén 1	4.6180
Almacén 2	4.6748

Number Scheduled	Average
Almacén 1	8.5670
Almacén 2	10.2765

Se puede observar que el almacén de piezas tipo 2 es el que tiene el mayor tiempo de almacenaje, así como también un mayor número de piezas almacenadas.

Number Times Used	Value
Almacén 1	7.0000
Almacén 2	8.0000
Scheduled Utilization	Value
Almacén 1	0.7500
Almacén 2	0.7000

En cambio el almacén de piezas 1 tiene un índice de rotación alto, por lo que se puede decir que las piezas se encuentra en constante flujo y no generan un volumen alto de material guardado.

Se puede identificar que las piezas de tipo 2 tienen una producción mayor a la demandada, por lo que tendría que tomar la medida de producir en menor cantidad. También se podría pensar en utilizar ambos almacenes para guardar los dos tipos de piezas ya que el tiempo de trasportación de las piezas 1 es un poco grande; a pesar de ser la más solicitada.

5.7 Modelo de un proceso de manufactura.

En la segunda mitad de los años setenta y la primera de los ochenta, los sistemas computarizados de producción e inventario florecieron. Cuando los administradores comprendieron que se tenían que computarizar para seguir siendo competitivos, apoyaron la creación de centenares de aplicaciones diferentes de la computadora, desde procesadores de palabras en las oficina hasta la robótica en las fábricas. La disponibilidad creciente de las computadoras más poderosas, programas y equipo asociado a un costo moderado, ha llevado la evolución hasta el umbral de los sistemas de manufactura integrada por computadora, CIM.

CIM es la cumbre del diseño auxiliado por la computadora (CAD), la manufactura auxiliada por computadora (CAM) y la prueba auxiliada por computadora (CAT). Este trio de adelantos inspirados en la computadora fue acuñada en Estados Unidos y se encuentra ahora madurando por todo el mundo. En el sector de beneficio de los metales, una rama importante, los sistemas flexibles de manufactura (FMS), permiten modificar el producto, hacer cambios entre productos y mejorar los procesos rápida y económicamente.

El diseño asistido por computadora se efectúa en una pantalla. El CAD sustituye por gráficas de computadora los laboriosos dibujos manuales poniendo imágenes en una terminal que les permite a los diseñadores estudiar diversas vistas de un montaje antes de que sea construido realmente. Se pueden someter a pruebas diseños diferentes en la pantalla, mostrando cómo reaccionan a los cambios en las condiciones de operación tales como sobrecargas, golpes repentinos y daño parcial. De manera que ahora los diseños se pueden modificar en unos minutos y no en semanas como antes. La consiguiente reducción del tiempo desde la concepción del producto hasta su elaboración puede ayudar mucho a evitar los excesos que han atormentado a los fabricantes. El CAD permite también un intercambio instantáneo de datos de diseño entre contratistas, vendedores y subcontratistas. Debido a que con más frecuencia los fabricantes les piden a los vendedores que acepten las especificaciones de las partes en los lenguajes digitales que entienden las computadoras, la relación entre cliente y proveedores se está alterando espectacularmente. La adopción del CAD por las

En cambio el almacén de piezas 1 tiene un índice de rotación alto, por lo que se puede decir que las piezas se encuentra en constante flujo y no generan un volumen alto de material guardado.

Se puede identificar que las piezas de tipo 2 tienen una producción mayor a la demandada, por lo que tendría que tomar la medida de producir en menor cantidad. También se podría pensar en utilizar ambos almacenes para guardar los dos tipos de piezas ya que el tiempo de trasportación de las piezas 1 es un poco grande; a pesar de ser la más solicitada.

5.7 Modelo de un proceso de manufactura.

En la segunda mitad de los años setenta y la primera de los ochenta, los sistemas computarizados de producción e inventario florecieron. Cuando los administradores comprendieron que se tenían que computarizar para seguir siendo competitivos, apoyaron la creación de centenares de aplicaciones diferentes de la computadora, desde procesadores de palabras en las oficina hasta la robótica en las fábricas. La disponibilidad creciente de las computadoras más poderosas, programas y equipo asociado a un costo moderado, ha llevado la evolución hasta el umbral de los sistemas de manufactura integrada por computadora, CIM.

CIM es la cumbre del diseño auxiliado por la computadora (CAD), la manufactura auxiliada por computadora (CAM) y la prueba auxiliada por computadora (CAT). Este trio de adelantos inspirados en la computadora fue acuñada en Estados Unidos y se encuentra ahora madurando por todo el mundo. En el sector de beneficio de los metales, una rama importante, los sistemas flexibles de manufactura (FMS), permiten modificar el producto, hacer cambios entre productos y mejorar los procesos rápida y económicamente.

El diseño asistido por computadora se efectúa en una pantalla. El CAD sustituye por gráficas de computadora los laboriosos dibujos manuales poniendo imágenes en una terminal que les permite a los diseñadores estudiar diversas vistas de un montaje antes de que sea construido realmente. Se pueden someter a pruebas diseños diferentes en la pantalla, mostrando cómo reaccionan a los cambios en las condiciones de operación tales como sobrecargas, golpes repentinos y daño parcial. De manera que ahora los diseños se pueden modificar en unos minutos y no en semanas como antes. La consiguiente reducción del tiempo desde la concepción del producto hasta su elaboración puede ayudar mucho a evitar los excesos que han atormentado a los fabricantes. El CAD permite también un intercambio instantáneo de datos de diseño entre contratistas, vendedores y subcontratistas. Debido a que con más frecuencia los fabricantes les piden a los vendedores que acepten las especificaciones de las partes en los lenguajes digitales que entienden las computadoras, la relación entre cliente y proveedores se está alterando espectacularmente. La adopción del CAD por las

grandes empresas está dando lugar a una reacción en cadena en apoyo de su implantación en las más pequeñas.

La CAM, y la CAT son menos extrañas que el CAD. Las máquinas de producción asistidas por computadora son muy comunes. En muchas fábricas, las máquinas son alimentadas por operadores de materiales controlados por computadora y la prueba e inspección por computadora van aumentando a medida que aparecen nuevos dispositivos. Los desembolsos para CAM y CAT se han justificados mediante estudios que indican que una parte, en un proceso estándar de fabricación, absorbe el 5% del tiempo mientras es maquinada y se pasa el otro 95% moviéndose o esperando.

La unión de CAM, CAD y CAT en un sistema totalmente integrado, es lo que emociona a los planificadores de la producción. La fabricación ideal integrada por computadora permitiría que cualquier persona, en la fábrica, recurriera al depósito común de datos de producción para hacer frente a los problemas de programación, de inventario, de compras y de la planeación. La CIM operativa reduce el desperdicio de materiales, mejora la calidad, acorta el tiempo de desarrollo y maximiza la producción de la mano de obra y los insumos de capital. Sin embargo, tanto la gerencia como los trabajadores deben ajustar su manera de pensar para obtener los beneficios de la CIM al mismo tiempo que se minimiza el sentimiento de su explotación. Las quejas las sufren las empresas que carecen de recursos para mejorar sus instalaciones y, por lo tanto, dejan de ser competitivas, así como las personas que se ven obligadas a reubicarse o a aprender nuevos oficios. La dignidad humana y el bienestar social se deben tener en cuenta junto con la eficiencia de operación.

La detección de una familia de partes que están circulando, o que razonablemente se podría hacer que circulen, a través del mismo conjunto de máquinas, identifica una célula de manufactura. Esa área determinada de la fábrica se puede mejorar para producir, en forma óptima, la familia de partes detectada. Como resultado, la calidad de la producción y la moral del trabajador se elevan por el simple hecho de trabajar con todo un montaje y ser capaz de construir un producto terminado en vez de realizar eternamente tareas repetitivas.

Sistema de manufactura celular (CMS) es el nombre que se ha dado a la tecnología de grupo aplicada. Forma grupos con las personas, los procesos y las máquinas necesarios para producir una familia de partes, que típicamente constituyen un componente o subcomponente completo. En forma aparente, la difícil transición de un sistema funcional, por ejemplo un taller, a un sistema CMS obstaculizó el movimiento hasta hace poco. Las enormes reducciones en tiempos de espera en la cola y en inventarios de producción en proceso que el CMS permite están apresurando hoy su aceptación.

Durante muchos años han existido formas sencillas de manufactura celular, particularmente en los pequeños talleres donde se agrupan las máquinas para hacer el producto predominante con más comodidad. Poca atención se prestó a la

versatilidad del arreglo. Un diseño premeditado de la manufactura celular implica flexibilidad. Se dispone un conjunto o grupo de máquinas cuidadosamente seleccionadas con el fin de facilitar la producción de un grupo específico de partes componentes. Cuando el conjunto es capaz de manejar una variedad de miembros de la familia y se unen las células, se ha creado un sistema de manufactura flexible (FMS).

La mayor ventaja del FMS es su capacidad para fabricar artículos económicos en pequeñas cantidades. Las antiguas máquinas de posición fija y las rígidas líneas de transferencia de la automatización dura podrían ensamblar partes iguales a bajo costo y en enorme volumen; pero las economías de escala desaparecen cuando se requieren pequeños lotes de partes diferentes. Un sistema de manufactura flexible puede producir un lote pequeño casi tan eficientemente como una línea inflexible de producción fabrica un lote grande. Esa capacidad le permite al fabricante cambiar de producto en forma rápida en respuesta a los giros del mercado. Permite también la construcción de fábricas pequeñas que pueden ser ubicadas más cerca de los mercados.

Modelo propuesto.

El sistema a modelar consiste en partes que arriban a células de manufactura. Las células 1, 2 y 4 contienen una sola máquina; la célula 3 tiene dos máquinas. Las dos máquinas de la célula 3 son diferentes; una de esas máquinas es un modelo reciente que puede procesar partes en 80% de el tiempo requerido por la vieja máquina. El sistema produce tres tipos de partes, cada uno visita las estaciones con diferente secuencia. Los pasos de las partes y el tiempo de proceso (en minutos) están contenidos en la tabla. Todos lo tiempos de los proceso son distribuidos triangularmente; el tiempo del proceso dado para la célula 3 es el de la máquina vieja.

Tipo de parte	Célula/tiempo	Célula/tiempo	Célula/tiempo	Célula/tiempo	Célula/tiempo
1	1 6,8,10	2 5,8,10	3 15,20,25	4 8,12,16	
2	1 11,13,15	2 4,6,8	4 15,18,21	2 6,9,12	3 27,33,39
3	2 7,9,11	1 7,10,13	3 18,23,28		

El tiempo de inter arribo a las células (todo tipo de combinación) esta dado por una distribución exponencial con una media de 13 minutos. La distribución por tipo es 26%, parte 1; 48%, parte 2; y 26%, parte 3. Las partes entran por la izquierda, salen por la derecha, y se mueven dentro del sistema en el sentido de las manecillas del reloj. También se asume que el tiempo para mover hacia cualquier célula es 2 minutos.

Se pretende simular 2000 minutos, con 2 réplicas.

Una vez que el modelo se ha dado de alta en el simulador ARENA, este se verá como se muestra en la figura 5.7.1.

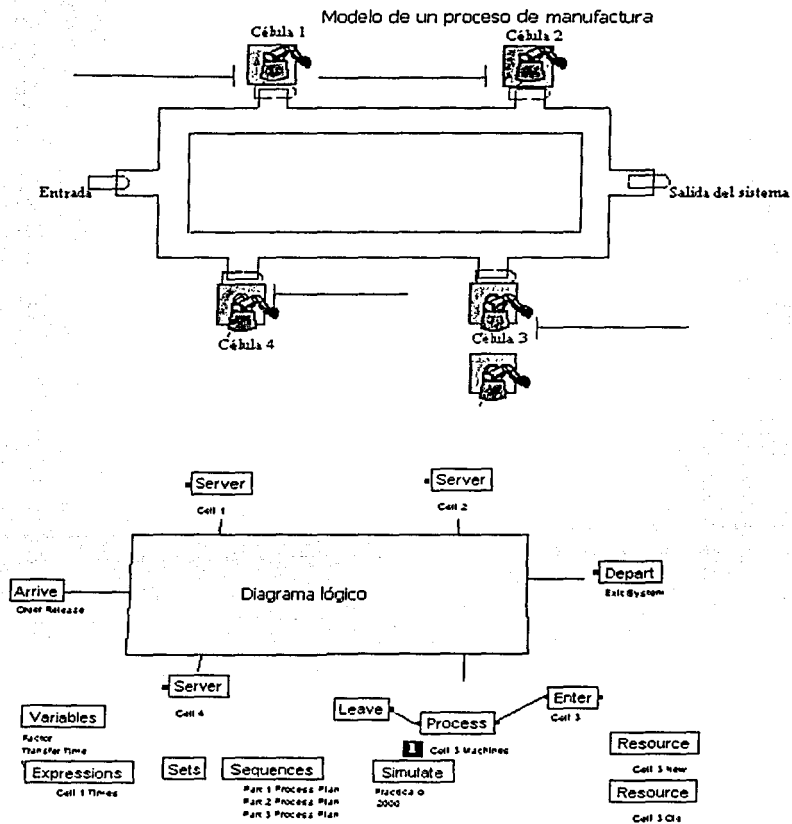


Figura 5.7.1. Modelo de un proceso de manufactura.

En la figura 5.7.2 se puede observar el movimiento de cada una de las máquinas y de los elementos del sistema, dándonos así la oportunidad de ver la distribución que tendrá el proceso y la secuencia que se seguirá en él.

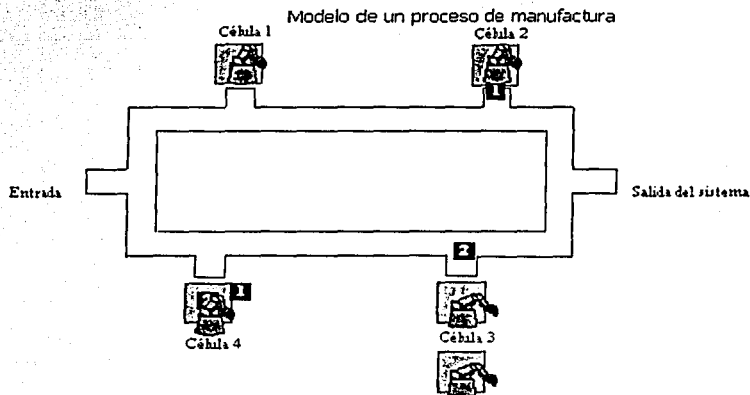


Figura 5.7.2. Corrida del modelo de un proceso de manufactura.

Tomando como base los resultados del simulador ARENA:

Identifier	Average
Part 2 Cycle Time	152.81
Cell 3 Machines Queu	10.166
Cell 4 Queue Time	15.194
Part 1 Cycle time	108.77
Cell 1 Queue Time	15.108
Part 3 Cycle Time	82.675
Cell 2 Queue Time	11.932

Se puede decir que la célula que tarda más tiempo en realizar su proceso es la célula 4, seguida por la 1, la 2 y la más rápida es la 3; esta en gran medida por la maquina nueva que se le integro. A pesar de que la célula más lenta para realizar su proceso sea la célula 4, los resultados muestran que la célula que se encuentra mayor tiempo activa y con una fila de espera más grande es la célula 2; esto se debe a que todas las partes pasa a ser procesadas en la célula 2; de hecho las partes 2 pasan 2 veces a la célula 2 y esto concuerda con el dato de los resultados que nos dicen que las partes 2 son las que tienen el tiempo de ciclo de maquinado mas largo.

Identifier	Average
# in Cell 4	.75212
# in Cell 1	1.1104
Cell 1 Busy	.78208
Cell 2 Busy	.82249
Cell 4 Busy	.77861
Cell 3 New Busy	.84920
Cell 3 Old Busy	.84240
Cell 3 New Available	1.0000
Cell 3 Old Available	1.0000
# in Cell 2	1.2357
Cell 1 Available	1.0000
Cell 2 Available	1.0000
Cell 4 Available	1.0000
# in Cell 3 Machines	.74214

Es posible que la acción correcta para este caso sea hacer más eficiente la célula 2, y esto se puede lograr con una máquina más rápida o poniendo dos máquinas como en el caso de la célula 3.

5.8 Modelo de un proyecto de inversión.

La toma de decisiones competente es una actividad que consta de dos partes:

1. La generación de todos los cursos opcionales de acción que la situación exige.
2. La selección de entre estas alternativas del mejor curso de acción.

La razón para esta definición de dos partes es que ninguna persona que tenga autoridad para seleccionar un curso de acción, puede defender una decisión incorrecta indicando que él hizo una selección matemática correcta entre dos alternativas muy insatisfactorias. Es deber de quien toma decisiones concebir, crear, descubrir y desarrollar todos los posibles cursos de acción que la situación dada exige.

Los criterios que se tomen para adoptar alguna proposición deben anticipar todas las variables que pueden ser afectadas por la misma. Se han colocado estos criterios bajo los siguientes encabezados:

- Factibles
- Más fáciles de llevar a cabo
- Humanos
- Legales y éticos
- Redituales

Los primeros cuatro criterios son difíciles de evaluar numéricamente; por ejemplo, los criterios legales y éticos advierten que ningún producto nuevo, por alta que sea la tasa de rendimiento esperada por su venta, se puede justificar si sólo puede venderse engañando al consumidor. Otra forma de verlo, es que la tasa de rendimiento calculada de esta manera es equivocada debido a los amplios efectos de errores legales y éticos que incluyen: demandas legales, reducción de ventas conforme se entera el mercado, la posibilidad de cero ventas debido a la acción gubernamental, reducción de ventas de otro productos debido a la imagen poco atractiva de la compañía, el efecto de esa imagen en la operación total.

El criterio de factibilidad significa: ¿funcionará?; los factores físicos pueden afectar a la factibilidad, como en el caso de una máquina o de un proceso de producción, o por factores humanos, en los que las personas no pueden o no quieren ejecutar la operación propuesta tal como se diseñó.

El criterio de más fácil de ponerse en práctica se relaciona con la resistencia de los usuarios, ya sean los propios empleados de la empresa o los clientes para aceptar y ejecutar una operación que es más difícil que la que se está reemplazando.

Las consideraciones humanas, tan fáciles de ignorarse, pueden resultar ser lo más perjudiciales (o benéficas) para el éxito de una proposición, aunque a favor de ella puedan considerarse insignificantes. Los elementos humanos pueden al final ser la razón principal por la que la idea no resultara, por lo que los trabajadores o el público rehusarían aceptarla, por lo que la máquina no proporciona la producción esperada, o por lo que el mejor diseño técnico ocasiona problemas. Los elementos humanos pueden fácilmente nulificar la tasa de rendimiento calculada sin ellos.

Todas las decisiones para gastar pueden dividirse en dos categorías. Las primeras se refieren a los gastos en los artículos de vida larga, o sea, activos fijos, tales como maquinaria y bienes raíces. Una característica de esta categoría es su flujo de compromisos futuros de costo y la depreciación del costo inicial durante el periodo de vida del equipo (los terrenos son una excepción).

El segundo tipo de decisiones concierne a los gastos que se encuentran totalmente en el presente. Ejemplos de ellos son los costos incrementales, la decisión de fabricar o comprar, la división de carga entre instalaciones existentes de producción y los muchos problemas del lote económico en producción y compras.

La mayor parte de la atención de la industria se ha enfocado en la primera categoría. Es en esa categoría donde existen las más grandes confusiones y donde se toman las peores decisiones. En muchos casos, las decisiones se basan sólo en la intuición, sin intentar un método científico, casi siempre por falta de comprensión de la teoría básica. Esas decisiones son tan importantes que son responsables de todas las instalaciones de producción, determinan todo el

presupuesto de capital y son responsables de los activos fijos totales que aparecen en el balance de la compañía.

La segunda categoría, las decisiones de economía actual, aparecen con menor frecuencia en la industria. Son las decisiones más sencillas de ambas categorías y, en general, la administración las maneja con mucha mayor habilidad.

Un obstáculo para el uso del concepto de inversión en la industria es no ver la situación propuesta como una alternativa para las situaciones actuales. Un poco de reflexión puede aclarar que no puede haber nunca menos de dos alternativas. En el caso mínimo posible, la decisión se reduce a "¿Debo seguir haciendo lo que hago en la actualidad o debo efectuar el gasto propuesto?" Incluso si parece razonable definir lo que se esté haciendo como no hacer nada, no es difícil descubrir que no hacer nada es una alternativa real en el sentido económico. No hacer nada puede ser muy poco económico; por ejemplo, guardar el dinero en una caja fuerte, en lugar de invertirlo, puede ser un modo muy costoso de no hacer nada.

No hacer nada es un curso de acción que representa el conservar las mismas políticas, los mismos productos, los mismos diseños y los mismos métodos de producción.

Uno de los métodos para realizar el análisis económico de un sistema, es el método de costo anual; que resulta ser el más utilizado, debido a que las personas están más familiarizadas con el concepto de costo anual que con el de valor presente, el valor futuro, o incluso con el concepto de tasa de rendimiento sobre la inversión.

El costo anual es simplemente el patrón de costo de cada alternativa transformado en una serie uniforme equivalente de costo anuales a una tasa de rendimiento mínima requerida. La alternativa que tenga la serie más baja de costo será, evidentemente, la selección más económica. Esta transformación es necesaria ya que una simple inspección no mostrará si la alternativa con el costo inicial más bajo es preferible a la que tenga desembolsos de operación menores.

El método de comparación del valor presente consiste en reducir todas las diferencias futuras entre alternativas a una sola cantidad presente equivalente. Esto también puede hacerse calculando el valor presente de cada alternativa por separado, antes de restar sus diferencias. La comparación puede hacerse, también, transformando la diferencia de costo anual, en una sola suma presente. De hecho, en ciertas circunstancias es más rápido y sencillo efectuar primero una comparación de costo anual, haciendo después la conversión a valor presente.

El hecho de que una comparación de costo anual puede convertirse a valor presente (y viceversa) es importante. Indica que sólo las diferencias son importantes para la selección, el valor presente de cada alternativa es el valor

presente comparativo y que la comparación de valor presente debe hacerse sobre el mismo número de años, para cada alternativa.

El hecho de que el término valor presente se aplique tanto a costos como a ingresos, puede causar ciertas confusiones. Es natural pensar en "valor" como ingresos y no como costos. Sólo deberá recordarse que el valor presente de una serie de costos es un costo y que la alternativa más económica es la más baja, mientras que el valor presente de una serie de ingresos es un ingreso y la alternativa más económica es la más elevada.

Los estudios de ingeniería y las proposiciones de proyectos públicos subrayan los beneficios que se proporcionarán al público con los sistemas propuestos. Por ejemplo, una presa de contención, beneficiará al público eliminando ciertos daños causados por las inundaciones. Esos beneficios expresados en pesos, pueden compararse con el costo necesario para producirlos. A partir de ello, es posible calcular la tasa de rendimiento sobre la inversión adicional haciendo el costo anual equivalente al valor anual de los beneficios. Sin embargo, el método más aceptado en economía pública es aquel en el que se calcula una razón beneficio-costos, ya que se puede ver claramente que valor es el de mayor monto de capital.

Modelo propuesto.

En un cine se puede observar que la demanda de su servicio; en época de saturación ha aumentado. Por lo que se puede analizar en base a la longitud de la fila en cada taquilla y el tiempo de espera, si conviene o no el poner otra taquilla; para este efecto no se toma en cuenta el espacio disponible ni los recursos.

El ritmo en que llegan los clientes se comporta de acuerdo a una distribución de probabilidad Exponencial con media de 0.7 minutos, del cual se dividen en igual proporción entre las dos taquillas existentes. El tiempo en que atienden los taquilleros se rige de acuerdo a una distribución Exponencial con media de 2 minutos, una vez que los usuarios compran sus boletos entran a la sala correspondiente; si es que la película esta a punto de comenzar; o se esperan hasta que les toque el horario de entrar. En cualquiera de los dos casos se omite esa parte , ya que para el modelo sólo se tomará la parte de las taquillas.

El modelo correspondiente se muestra en la figura 5.8.1.

presente comparativo y que la comparación de valor presente debe hacerse sobre el mismo número de años, para cada alternativa.

El hecho de que el término valor presente se aplique tanto a costos como a ingresos, puede causar ciertas confusiones. Es natural pensar en "valor" como ingresos y no como costos. Sólo deberá recordarse que el valor presente de una serie de costos es un costo y que la alternativa más económica es la más baja, mientras que el valor presente de una serie de ingresos es un ingreso y la alternativa más económica es la más elevada.

Los estudios de ingeniería y las proposiciones de proyectos públicos subrayan los beneficios que se proporcionarán al público con los sistemas propuestos. Por ejemplo, una presa de contención, beneficiará al público eliminando ciertos daños causados por las inundaciones. Esos beneficios expresados en pesos, pueden compararse con el costo necesario para producirlos. A partir de ello, es posible calcular la tasa de rendimiento sobre la inversión adicional haciendo el costo anual equivalente al valor anual de los beneficios. Sin embargo, el método más aceptado en economía pública es aquel en el que se calcula una razón beneficio-costos, ya que se puede ver claramente que valor es el de mayor monto de capital.

Modelo propuesto.

En un cine se puede observar que la demanda de su servicio; en época de saturación ha aumentado. Por lo que se puede analizar en base a la longitud de la fila en cada taquilla y el tiempo de espera, si conviene o no el poner otra taquilla; para este efecto no se toma en cuenta el espacio disponible ni los recursos.

El ritmo en que llegan los clientes se comporta de acuerdo a una distribución de probabilidad Exponencial con media de 0.7 minutos, del cual se dividen en igual proporción entre las dos taquillas existentes. El tiempo en que atienden los taquilleros se rige de acuerdo a una distribución Exponencial con media de 2 minutos, una vez que los usuarios compran sus boletos entran a la sala correspondiente; si es que la película esta a punto de comenzar; o se esperan hasta que les toque el horario de entrar. En cualquiera de los dos casos se omite esa parte, ya que para el modelo sólo se tomará la parte de las taquillas.

El modelo correspondiente se muestra en la figura 5.8.1.

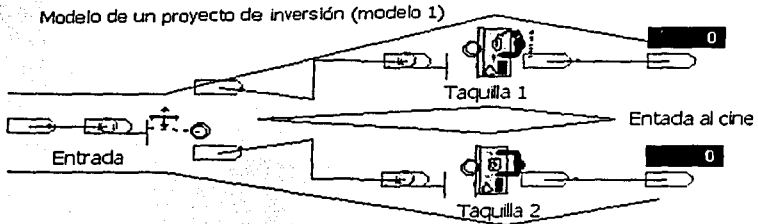
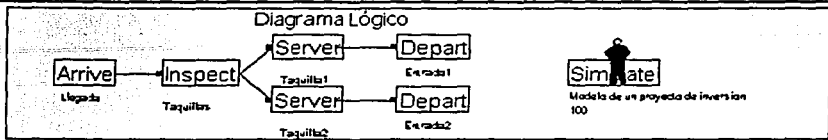


Figura 5.8.1. Modelo de un proyecto de inversión, con 2 servidores.

Como ya se menciona con anterioridad, una de las principales ventajas que tiene el simulador ARENA es el poder observar lo que sucede en el sistema simulado; teniendo así un análisis del movimiento de cada parte del sistema; para lograr este efecto se presenta, en la figura 5.8.2, la corrida del caso en cuestión.

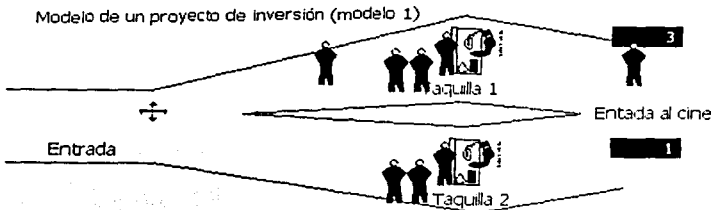
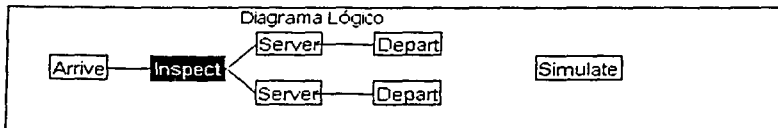
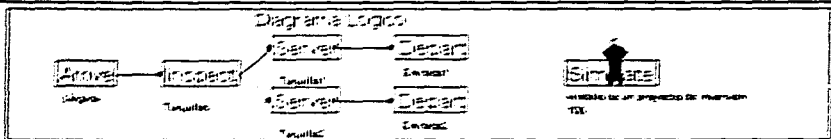


Figura 5.8.2. Corrida del modelo de un proyecto de inversión, con 2 servidores.

Para realizar el análisis sobre la inversión, se tiene que incorporar una taquilla más al modelo; con el ritmo de atención igual a las demás taquillas, es



Modelo de un proyecto de inversión (Modelo 1)

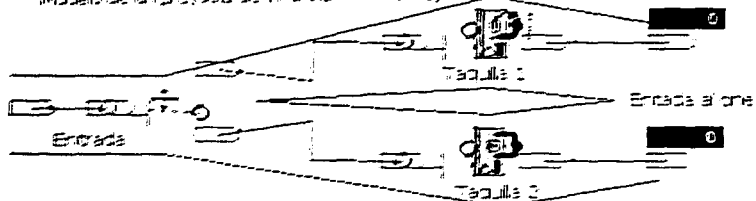
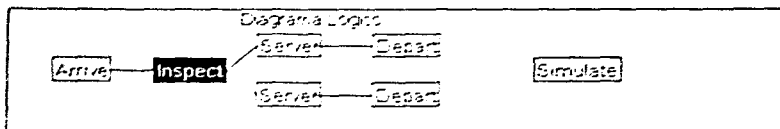


Figura 5.8.1. Modelo de un proyecto de inversión con 2 servidores.

Como ya se mencionó con anterioridad, una de las principales ventajas que tiene el simulador ARENA es el poder observar lo que sucede en el sistema simulado; teniendo así un análisis del movimiento de cada parte del sistema; para lograr este efecto se presenta, en la figura 5.8.2, la corrida del caso en cuestión.



Modelo de un proyecto de inversión (Modelo 2)

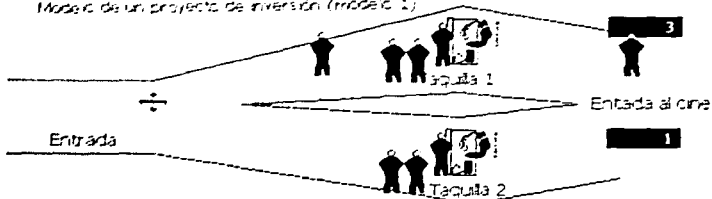


Figura 5.8.2. Corrida del modelo de un proyecto de inversión con 2 servidores.

Para realizar el análisis sobre la inversión, se tiene que incorporar una taquilla más al modelo; con el ritmo de atención igual a las demás taquillas, es

decir, regido por una distribución de probabilidad Exponencial con media de 2 minutos; para ilustrar el nuevo modelo se presenta la figura 5.8.3.

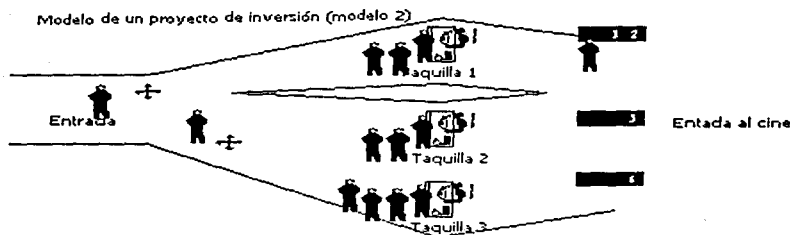
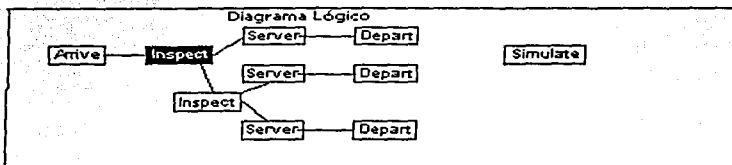


Figura 5.8.3. Corrida del modelo de un proyecto de inversión, con 3 servidores.

Cabe recordar que los puntos de comparación son la longitud de la fila en cada taquilla y el tiempo de espera; en base en lo anterior y en los resultados que proporciona el simulador ARENA se puede decir que el tiempo de espera promedio para cada taquilla disminuye 4 veces su valor colocando la nueva taquilla, además disminuye 5 veces el número de clientes que se tienen en espera de ser atendidos.

Sistema actual.

Waiting Time	Average
Taquilla1	21.4759
Taquilla2	24.1413
Taquillas	0
Number Waiting	Average
Taquilla1	13.5330
Taquilla2	16.0646
Taquillas	0

Sistema propuesto.

Waiting Time	Average
Taquilla1	6.7777
Taquilla2	5.7855
Taquilla3	8.8034
Taquillas	0
Taquillas2	0
Number Waiting	Average
Taquilla1	3.4566
Taquilla2	2.0828
Taquilla3	3.9604
Taquillas	0
Taquillas2	0

De igual manera se puede ver que la utilización de los taquilleros no es tan exhaustiva para ellos, ya que disminuye en un 10%. Con lo antes descrito se puede concluir que es conveniente la inversión, tomando como base los puntos señalados, ya que se disminuye el tiempo de espera en la fila y también la cantidad de personas en ella.

Sistema actual.

Utilization	Average
Taquilla1	0.9876
Taquilla2	0.9900
Taquillas	0

Sistema propuesto.

Utilization	Average
Taquilla1	0.8548
Taquilla2	0.8314
Taquilla3	0.9458

5.9 Modelo de control de calidad.

Las técnicas de muestreo se han usado desde que se fabrican productos. Por ejemplo, el fabricante de quesos prueba sus productos tomando una pequeña muestra, y el ama de casa corta una rebanada para verificarlo todo. En muchos casos el muestreo es la única forma posible de inspección (cuando las pruebas son destructivas, costosas y tardadas, o cuando las cantidades producidas son grandes). Muchos experimentos demuestran que, cuando se fabrican cantidades

Sistema propuesto	
Waiting Time	Average
Tequilla1	6.7777
Tequilla2	5.7858
Tequilla3	6.8034
Tequillas	0
Tequillas2	0
Number Waiting	Average
Tequilla1	3.4588
Tequilla2	2.0828
Tequilla3	3.9504
Tequillas	0
Tequillas2	0

De igual manera se puede ver que la utilización de los taquilleros no es tan exhaustiva para ellos, ya que disminuye en un 10%. Con lo antes descrito se puede concluir que es conveniente la inversión, tomando como base los puntos señalados, ya que se disminuye el tiempo de espera en la fila y también la cantidad de personas en ella.

Sistema actual.	
Utilization	Average
Tequilla1	0.9876
Tequilla2	0.9900
Tequillas	0

Sistema propuesto.	
Utilization	Average
Tequilla1	0.8548
Tequilla2	0.8314
Tequilla3	0.9458

5.9 Modelo de control de calidad.

Las técnicas de muestreo se han usado desde que se fabrican productos. Por ejemplo, el fabricante de quesos prueba sus productos tomando una pequeña muestra, y el ama de casa corta una rebanada para verificarlo todo. En muchos casos el muestreo es la única forma posible de inspección (cuando las pruebas son destructivas, costosas y tardadas, o cuando las cantidades producidas son grandes). Muchos experimentos demuestran que, cuando se fabrican cantidades

sustanciales de productos, los resultados de la inspección por muestreo son más factibles que los de la inspección al 100%.

El control estadístico de calidad actúa tomando muestras e interpretando los resultados mediante análisis matemáticos. La eficacia de probar por muestreo deriva del hecho que un sistema estable, sujeto sólo a variaciones aleatorias, obedece leyes matemáticas conocidas.

Se debe tener presente desde el principio que las variaciones en la manufactura surgen de una de dos fuentes: primeramente de las causas imputables que se pueden eliminar o controlar (por ejemplo, desgaste de la herramienta, variaciones en el material, mantenimiento deficiente de las máquinas y errores de ajuste); en segundo lugar de las variaciones casuales o aleatorias (por ejemplo el movimiento de las máquinas debido a necesidades de desplazamiento, corrientes de aire que causan cambios súbitos de temperatura, discontinuidades repentinas en el material y distracciones casuales de origen externo que afectan a la concentración del operario.

El control estadístico de calidad se puede usar cuando las causas imputables del mal trabajo se conocen y se pueden eliminar. Observando los productos y verificando su comportamiento será posible darse cuenta que una causa imputable ha regresado a un proceso, lo que permitirá descubrir la causa y en consecuencia eliminarla. Por supuesto, la presencia de variable aleatorias fija límites a la exactitud del proceso

Un proceso controlado sólo está sujeto a fuentes casuales o aleatorias de variación, y tales situaciones han estado constantemente en estudio desde la década de 1650, cuando Pascal y Fermat discutían los resultados del juego de dados. En líneas generales, el controlador estadístico de calidad se ocupa de dos clases principales de problemas:

- a) Cuando el producto tiene una propiedad que varía. Por ejemplo, si se corta una clavija de una varilla mediante un proceso controlado, la longitud de la varilla puede tener cualquier valor que esté ente los extremos fijados por el proceso. Aquí, el control se ejerce examinando las variables (control por variables).
- b) Cuando el producto tiene un atributo que se califica como "bueno" o "malo", "correcto" o "incorrecto", "aceptable" o "inaceptable", "defectuoso" o "no defectuoso": por ejemplo, una pelota puede pasar o no por un agujero. A este control se le conoce como control por atributos.

En muchas situaciones es imposible medir todos los productos, y por tanto se toman e inspeccionan muestras de la producción total. Los resultados de esta inspección se comparan con los resultados que se esperan de una situación estable: si los resultados reales concuerdan con los predichos, entonces no se necesita acción alguna, si no concuerdan, entonces se puede suponer que el

proceso ha cambiado y se emprende una investigación para descubrir y eliminar la causa del cambio. Es frecuente realizar estas comparaciones en gráficas de control sobre las que se marcan los niveles de alerta y de acción

Tales gráficas son muy fáciles de comprender e interpretar, y ya con experiencia se pueden convertir en instrumentos precisos de diagnóstico que pueden emplear los operarios y los supervisores de primera línea para evitar que se produzca trabajo defectuoso. Es usual colocar la gráfica de control en un tablero de avisos cercano al proceso que se está controlando, de manera que el productor mismo pueda ver los resultados del muestreo que se estén registrando. Las gráficas de control más usadas son: la gráfica de medias, la gráfica de amplitudes y la gráfica por atributos.

Al igual que cualquier otra herramienta administrativa, el control estadístico de calidad necesita implantarse con cuidado. Para una organización habituada a la inspección al 100%, la idea de formular juicios basándose en los resultados de pruebas o mediciones sobre muestras pequeñas, será a la vez revolucionaria y sospechosa. Si fallara un sistema de control de calidad mal diseñado (esto es, si da resultados que difieran notablemente de los de una inspección al 100%) entonces los esfuerzos posteriores para extender el control de calidad enfrentarían muchas dificultades, por lo que se tiene que implantar con la conciencia de que es una herramienta para mejorar la calidad del producto y concienciar a los operarios de que la deben utilizar de manera correcta, además de darles una buena capacitación para manejarla.

Con la ayuda de los paquetes de computo se puede hacer más eficiente la acción de controlar, ya que se puede ligar un paquete de simulación y una hoja de cálculo; como lo es Excel; para generar modelos que día con día muestren lo que esta ocurriendo en el sistema, de tal manera que sea posible identificar cuando una variable se encuentra con probabilidad de salirse de control. Lo antes descrito se logra al incorporar los datos históricos; de las gráficas de control; del sistema a una hoja de cálculo y por medio del paquete de simulación obtener la distribución de probabilidad que represente el comportamiento de los datos; esto se puede realizar así porque es claro que el comportamiento mostrado en las hojas de control es de forma estocástica. El paquete que se esta utilizando en la realización de los modelos propuestos contiene la liga correspondiente a esta función; sólo basta con declarar el modelo y activar los enlaces pertinentes.

Modelo propuesto.

Supóngase que una empresa; dedicada a la galvanoplastia de metales; incorporó un sistema de cómputo en el que se tiene instalado el paquete de simulación ARENA y se cuenta con un modelo elaborado a partir de los datos contenidos en gráficas de control pasadas; para la realización del modelo se obtuvo una distribución de probabilidad normal, para los promedios de la gráfica que se encontraron dentro de los límites de control, con una media de 70 y una

desviación estándar de 10, y para los promedios que se encuentran fuera de los límites de control, con media de 3 y desviación estándar de 0.2. Con dichos datos se debe decidir si en el siguiente periodo de observación se tendrá bajo control el proceso o si este estará fuera de control; además de decir con cuanta probabilidad ocurrirá una o la otra opción.

Al dar de alta el modelo, en el simulador, se pueden incorporar gráficas que nos muestren como se está comportando el sistema, de tal manera que para este estudio no se toma en cuenta el proceso, ya que sólo se requieren las características contenidas en las gráficas de control, el modelo se muestra en la figura 5.9.1.

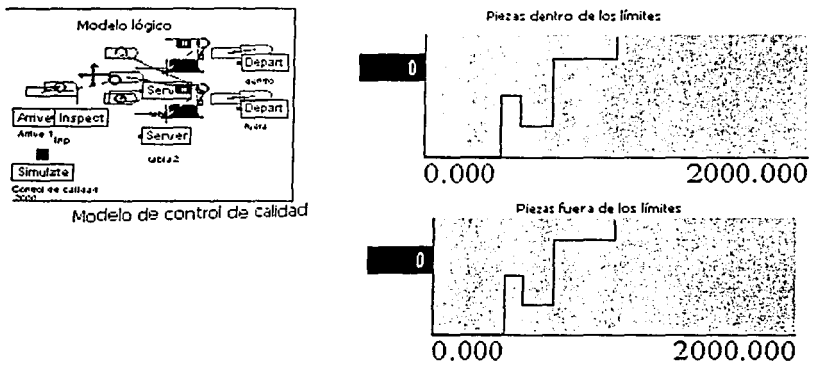


Figura 5.9.1. Modelo de control de calidad.

La ventaja que nos proporciona esta forma de análisis es que es posible observar el comportamiento de las medias que indican que el sistema esta dentro de control y las medias que nos indican que el sistema esta fuera de control. Como muestra de este hecho se presenta la figura 5.9.2.

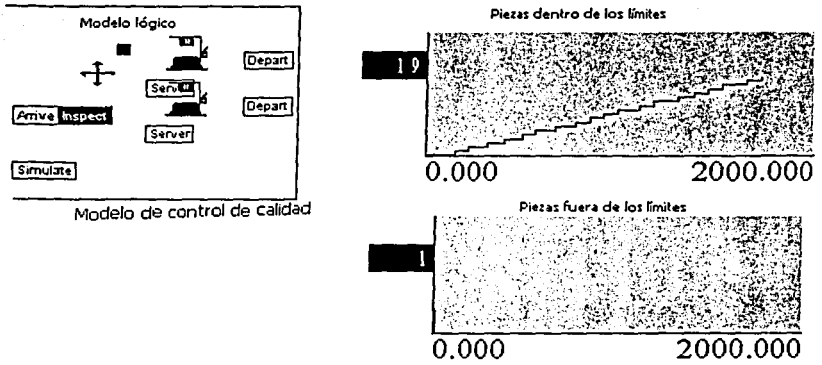


Figura 5.9.2. Corrida del modelo de control de calidad.

En este caso se deben hacer varias corridas o indicar en la simulación que se tiene que utilizar varias replicas, la razón de esto es para obtener el dato de la probabilidad de ocurrencia. Con los resultados que se obtienen de la simulación se puede ver que en el próximo periodo el sistema estará bajo control, ya que de las replicas de la corrida se tiene un 97% de que ello suceda, la forma de ver esto es que de todos los resultados sólo 1 indicó una media fuera de control y las demás están dentro de los límites; por lo que en conclusión se puede asegurar que el sistema estará bajo control con su correspondiente probabilidad. Para mostrar este hecho se muestra el dato que indica la réplica que calculó un dato fuera de control:

Number Out	Value
System	1

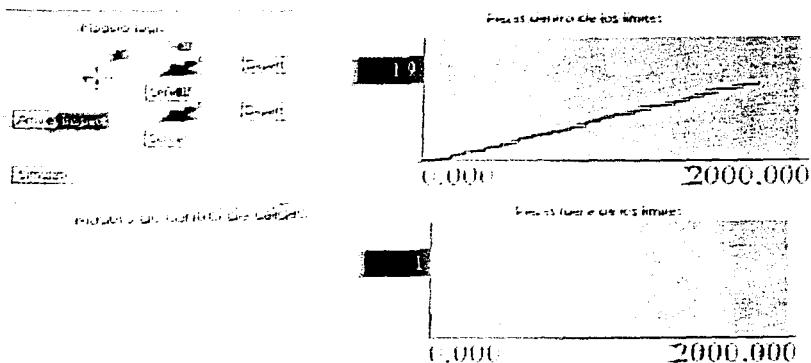


Figura 5.20. Control del número de puntos de control.

En este caso se deberá hacer varias corridas o corridas en la simulación que se tiene que utilizar varias repeticiones a la vez de este es para obtener el dato de la probabilidad de ocurrencia. Con los resultados que se obtienen de la simulación se puede ver que en el próximo período el sistema estará bajo control ya que de las repeticiones de la corrida se tiene un 87% de que ello sucede la forma de ver esto es que de todos los resultados son 7 indica una media fuera de control y las demás están dentro de los límites por lo que en conclusión se puede asegurar que el sistema estará bajo control con su correspondiente probabilidad. Para mostrar este modo se muestra el dato que indica la repeticiones que salieron un dato fuera de control.

Number of System	Value
1	7

5.10 Modelo de pronósticos.

La clasificación que generalmente se usa para definir los pronósticos es: pronósticos cuantitativos y pronósticos cualitativos.

Los modelos de pronósticos cualitativos poseen dos características importantes:

1. Se expresan en notación matemática. En un modelo cuantitativo se pueden modificar los coeficientes y/o añadir términos hasta que el modelo produzca buenos resultados.
2. Mediante el uso de computadoras, un modelo se puede basar en una cantidad enorme de datos. Por ejemplo, los sistemas de control de inventarios que requieren pronósticos que son actualizados cada mes para miles de artículos.

La literatura técnica relacionada con modelos de pronósticos cuantitativos distingue a estos en modelos causales y modelos de series de tiempos.

En un modelo causal, el pronóstico de la cantidad que interesa va montada a cuestras sobre otra cantidad o conjunto de cantidades. En otras palabras, nuestro conocimiento del valor de una variable (o quizá de varias variables) nos habilita para predecir el valor de otra. En términos más precisos, sea y' el verdadero valor de alguna variable que interesa, y sea y' un valor pronosticado o estimado para esa variable. Entonces, en un modelo causal, donde f es una regla o función de predicción y x_1, x_2, \dots, x_n un conjunto de variables. Se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y' = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

En esta representación, las variables x a menudo se llaman variables independientes, en tanto que y' es la variable dependiente o respuesta. La cuestión está en que conocemos las variables independientes y las usamos en el modelo de pronósticos para pronosticar la variable dependiente.

Para que un modelo causal resulte útil, las variables independientes deben ser conocidas o factibles de predecir con mayor facilidad que la variable dependiente. Para usar un modelo de predicción causal, se requieren dos condiciones:

1. Una relación entre los valores de las variables independientes y dependientes tales que la primera proporcione información sobre la segunda.
2. Los valores de la variable independiente deben ser conocidos y estar disponibles para la predicción en el momento en que ésta deba hacerse.

Un recurso típico que se usa para construir un modelo de predicción causal se llama ajuste de la curva. El tipo de curva usado con mayor frecuencia es la

línea recta, pero existen métodos con los que se puede lograr el ajuste a cualquier tipo de curva, para lograr el ajuste generalmente se utiliza la regresión lineal y la regresión múltiple.

En la mayoría de los problemas de magnitud interesante, no es práctico realizar los cálculos a mano. Esto es verdad en especial en los problemas que tienen muchas variables independientes. La alta disponibilidad de computadoras ha reducido el problema de realizar los cálculos necesarios, en forma tal que, al menos en muchas aplicaciones, es insignificante. Las cuestiones importantes son: ¿qué modelo, si lo hay, puede hacer un trabajo confiable de pronósticos; y si están disponibles y son confiables los datos requeridos para dicho modelo?

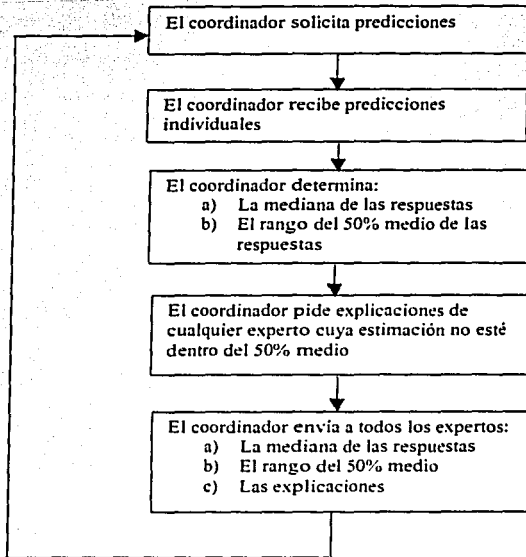
Los modelos de series de tiempos generan pronósticos mediante la extrapolación del comportamiento anterior de los valores de una variable simple particular que interese. Los modelos de las series de tiempo usan cierta técnica para extrapolar hacia el futuro el comportamiento anterior.

Al usar el ajuste de curvas dentro del contexto de las series de tiempos, la principal diferencia será que en esta situación la variable independiente será el tiempo. Las observaciones pasadas de la variable dependiente serán graficadas contra el tiempo y al curva se ajustará después de estos datos. La curva se prolongará entonces hacia el futuro para producir predicciones. En este contexto, prolongar la curva no significa más que evaluar la función derivada para valores mayores del tiempo.

El modelo de series de tiempo presupone que el sistema que produce a y es, en esencia, estacionario (o estable) y que continuará actuando en el futuro como lo fue en el pasado. Las trayectorias futuras del movimiento de y recordaran estrechamente la trayectoria pasada. Esto significa que el tiempo es un sustituto de muchos factores que pueden ser difíciles de medir, pero que parecen variar de una manera consistente y sistemática en el tiempo. Si el sistema que produce a y cambia en forma significativa (por ejemplo, debido a cambios ambientales, tecnológicos o por la política gubernamental) entonces el supuesto de un proceso estacionario no es válido y en consecuencia, un pronóstico basado en el tiempo como variable independiente puede ser un grave error.

Es posible usar otras funciones que no sean lineales, para extrapolar una serie de observaciones (es decir, para predecir el futuro), en este caso se sugiere suponer que y es polinomial de orden superior en t (tiempo).

Como pronóstico cualitativo se puede mencionar al método Delphi, el cual confronta el problema de obtener una predicción combinada de un grupo de expertos. Un tratamiento consiste en reunir a los expertos en un cuarto y dejarlos discutir el evento hasta que se produzca el consenso. Este método sigue la siguiente estructura lógica:



El método Delphi fue desarrollado por la Rand Corporation para conservar la fuerza de un pronóstico conjunto mientras se eliminan los defectos de la dinámica de grupos. El método utiliza un coordinador y toda comunicación entre los expertos se realiza por medio de él. Después de tres o cuatro veces que ocurre el proceso, surge por lo general un consenso del pronóstico.

Otras técnicas cualitativas se centran primeramente en la predicción de la demanda de un producto o grupo de productores. Consultando a aquellos que están cerca del consumidor eventual, tales como el agente de ventas o el consumidor mismo, con relación a un producto o sus planes de compras.

Los pronósticos populares por encuesta tienen la ventaja de traer una gran cantidad de conocimientos detallados hacia el problema del pronóstico. El vendedor individual que es consciente con perspicacia de la situación de su distrito podría proporcionar mejores pronósticos que el modelo más complejo. Sin embargo, existen varias dificultades:

1. Alto costo: El tiempo que el vendedor gasta en los pronósticos es tiempo para las ventas. Algunos ven este costo de oportunidad de las encuestas popular para pronosticar su mayor desventaja.
2. Conflicto potencial de intereses: Los pronósticos de ventas bien pueden convertirse en metas comerciales que afecten la compensación de un vendedor en varias formas importantes. Dichas consideraciones ejercen un perjuicio descendente en los pronósticos individuales.
3. Esquizofrenia por el producto: Es importante para el vendedor ser entusiasta en relación con su producto y sus usos potenciales.

La investigación de mercados incluye desde foros de consumidores hasta estudios de consumo y pruebas de mercadeo. La meta consiste en hacer predicciones en relación con el tamaño y estructura del mercadeo para mercancías y/o servicios específicos. Estas predicciones (pronósticos) se basan por lo general en muestras pequeñas y son cualitativas en el sentido de que los datos originales consisten por lo común en evaluaciones subjetivas de los consumidores.

Modelo propuesto.

De acuerdo con los datos históricos, que tiene una empresa de muebles, sobre el volumen de ventas; de recamaras; se puede decir que las ventas hasta el periodo anterior se comportan de acuerdo a una distribución de probabilidad Exponencial con media de 9 horas. La concepción del sistema para este modelo será solo en lo que se refiere a la pronosticación de las ventas para un periodo, sin involucrarse a la producción.

La representación del modelo; en el paquete ARENA, se muestra en la figura 5.10.1.



Modelo de pronóstico de ventas

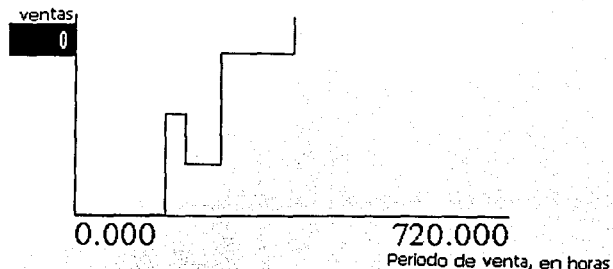


Figura 5.10.1. Modelo de pronósticos de ventas.

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

Para efectos del estudio se consideran periodos de venta de 2 meses, es decir de 720 horas; ya que se toma la idea de tener 12 horas por cada día. Para realizar el análisis de este tipo de modelos, más que simular todo el sistema, lo que importa es observar el comportamiento de las gráficas y ver el resultado del número de salidas en el resultado que proporciona el ARENA. Por eso en estos casos se recomienda simular un número alto de replicas, ya que de esta manera podemos sacar la probabilidad de cada uno de los valores que adoptan las ventas, en nuestro caso utilizaremos 10 replicas. La salida de los datos del sistema se muestra en la figura 5.10.2.

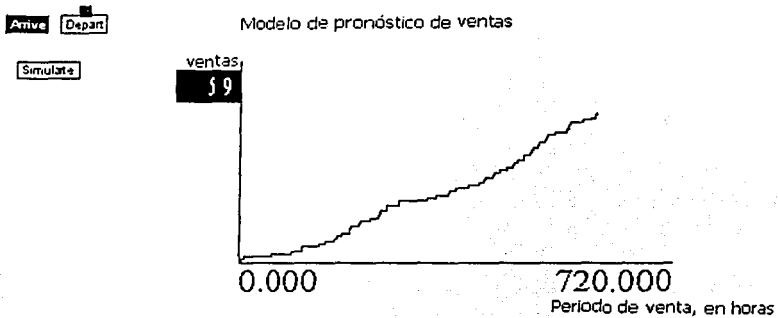


Figura 5.10.2. Corrida del modelo de pronóstico de ventas.

Como ya se mencionó, se obtiene un resultado para cada replica, por lo que al terminar la simulación obtenemos 10 valores del pronóstico de ventas; cabe aclarar que dependiendo del número de replicas utilizadas será la confianza del pronóstico, porque al corroborar con una serie grande de resultados se puede tener mayor probabilidad de que ocurra lo seleccionado.

En base a los resultados que se obtienen de la simulación se puede decir que el valor pronosticado para las ventas del siguiente periodo es de 80 recamaras, este dato se obtuvo comparando los 10 valores pronosticados, y además se puede afirmar que tiene una probabilidad de ocurrencia del 60%. Sólo como comparación se proporciona el dato de que el valor que le sigue es el de 75 ventas con probabilidad de 20%.

A continuación se muestran los datos del reporte:

Number Out	Value
System	68
System	80
System	82
System	75
System	80
System	80
System	75
System	80
System	80
System	80

Conclusiones y recomendaciones.

Como se observó a lo largo del presente trabajo, al analizar los sistemas estocásticos por medio de la simulación se tienen una serie de ventajas, las cuales desembocan en la eficiencia para auxiliar en la toma de decisiones; en comparación con los métodos tradicionales que se utilizan en la Ingeniería Industrial. Debido a que con dicha herramienta se pueden analizar cambios en equipo, distribución de planta, inventarios, rutas de distribución, políticas, etc., se considera necesario que los estudiantes de Ingeniería Industrial tengan un buen nivel de conocimientos sobre ella.

También se considera que el tiempo concedido para el estudio de la simulación en la materia de Investigación de Operaciones II, no es el adecuado; debido a que en ocasiones no se logra ver el tema o no se ve de manera correcta. Lo ideal sería que se contara con una asignatura para el estudio de la simulación, como en el Tecnológico de Monterrey; pero la realidad es que es muy difícil implantar dicha asignatura, por los cambios que sufriría el plan de estudios y la incorporación de profesores. Al analizar la posibilidad de dar el tema en cuestión en otra asignatura, se tiene el problema de que los conocimientos requeridos para manejar la simulación sólo se obtienen en la asignatura de Investigación de Operaciones II, por lo que se propone utilizar el laboratorio de dicha asignatura para ampliar su enseñanza.

Para implementar el laboratorio de simulación es necesario superar dos situaciones. La primera es contar con el mobiliario, equipo de cómputo y el paquete de simulación; para lo cual se puede utilizar el nuevo laboratorio de Ingeniería Industrial construido en la planta baja de la DIMEI, en donde se cuenta con varias computadoras, cañón, equipo audio-visual y varios paquetes utilizados en las materias de la carrera de Ingeniería Industrial, entre ellos el paquete ARENA. La segunda es que los profesores manejen y comprendan el paquete; lo cual no tiene mayor problema, ya que el manejo de este es muy sencillo y se considera que los profesores pueden comprenderlo fácilmente.

Por último, en base a las 32 horas destinadas al actual laboratorio de la asignatura de Investigación de Operaciones II, se presenta la estructura que se considera debe tener el laboratorio de simulación:

- Práctica de dos horas para que los alumnos conozcan y generen números pseudoaleatorios mediante los generadores congruencial mixto y congruencial multiplicativo. Además utilizar las pruebas estadísticas de aleatoriedad, tales como: prueba de los promedios, de frecuencias y de distancias.
- Práctica de dos horas para que los alumnos utilicen la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de X^2 , para obtener distribuciones de probabilidad mediante el ajuste de datos. Además aplicar la generación de variables aleatorias por medio de la transformada inversa.

- Práctica de cuatro horas para que los alumnos tengan su primer acercamiento al paquete de simulación ARENA, para tal efecto se recomienda utilizar la información contenida en la sección 5.2 Operación del sistema ARENA.
- Práctica de cuatro horas para realizar el análisis de un sistema de líneas de espera, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.3 Modelo de líneas de espera.
- Práctica de cuatro horas para balancear una línea de producción, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.4 Modelo de balanceo de líneas.
- Práctica de dos horas para realizar el análisis de un sistema de inventarios, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.5 Modelo de sistemas de inventarios.
- Práctica de dos horas para realizar el análisis de una red logística, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.6 Modelo de red logística.
- Práctica de cuatro horas para realizar el análisis de un sistema de manufactura, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.7 Modelo de un proceso de manufactura.
- Práctica de dos horas para realizar el análisis de un proyecto de inversión, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.8 Modelo de un proyecto de inversión.
- Práctica de dos horas para analizar un control de calidad, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.9 Modelo de control de calidad.
- Práctica de dos horas para realizar pronósticos, se recomienda utilizar la información y el modelo contenidos en la sección 5.10 Modelo de pronósticos.
- Clase de dos horas libres para realizar un examen, asesoría de algún modelo, etc.; según la apreciación del profesor.

Referencias bibliográficas.

Libros:

1. Discrete-Event sistem simulation/ Jerry Banks, John S. Carson, Barry L. Nelson 2ª Edición/ Prentice Hall.
2. Introduction to simulation using SIMAN/ C. Dennis Pegden, Robert E. Shannon, Randall P. Sadowski/ 2ª Edición/ McGraw Hill
3. Simulación mercantil en la educación industrial y universitaria/ Paul S. Greenlaw, Lowell W. Herron, Richard H. Rawdon/ Edit. Herrero Hermanos Sucesores, S.A. Editores México
4. Simulación, un enfoque práctico/ Raúl Coss Bu/ Editorial Limusa
5. Handbook of simulation principles, methodology, advances, applications, and practice/ Jerry Banks/ Editorial Wiley interscience
6. Investigación de operaciones/ Hamdy A. Taha/ 5ª Edición/ Editorial Alfaomega
7. Modelos cuantitativos para administradores/ Davis-McKeown/ Grupo editorial Iberoamericana
8. Simulation with ARENA/ W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Deborah A. Sadowski/ Editorial McGraw-Hill
9. The Administrator/ John D. Glover y Ralph M. Hower/ 3ª edición
10. Applied system simulation; a review study; Information sciences-an international Journal
11. Simulation modelling and analysis/ Averill M. Law, W. David Kelton/ 2ª edición/ Editorial McGraw-Hill
12. Forecasting, Methods and applications/ 2ª edición/ Makridakis, Wheelwright, McGee/ Editorial Wiley
13. Fundamental concepts in the design of experiments/ Charles R. Hichs/ Editorial Holt, Rinehart and Winston
14. Ingeniería económica/ Leland T. Blank, Anthony J. Tarquin/ 3ª edición/ Editorial McGraw-Hill
15. Ingeniería económica/ E. Paul DeGarmo, John R. Canada/ Editorial compañía editorial continental
16. Investigación de operaciones/ Hamdy A. Taha/ 2ª edición/ Editorial Alfaomega
17. Investigación de operaciones, un enfoque fundamental/ James E. Shamblyn, G. T. Stevens Tr./ Editorial McGraw-Hill
18. Production control/ Moore and Jablonski/ 3ª edición/ editorial McGraw-Hill
19. Análisis económico en ingeniería/ Donald G. Newman/ 2ª edición/ Editorial McGraw- Hill
20. Introducción a la investigación de operaciones/ Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman/ Quinta edición/ Editorial McGraw-Hill
21. Toma de decisiones por medio de investigación de operaciones/ Robert J. Thierauf/ Editorial Limusa
22. Sistemas de producción, planeación, análisis y control/ James L. Riggs/ Tercera edición/ editorial Limusa
23. Administración de la producción y de las operaciones/ Elwood S. Bufa, Rakesh K. Sarin/ Editorial Limusa.
24. Administración de operaciones/ Roger G. Schroeder/ 3ª edición/ Editorial McGraw-Hill
25. La producción industrial, su administración/ Keith Lockyer/ Editorial Alfaomega
26. Ingeniería económica, toma de decisiones económicas/ Geogr A. Taylor/ Editorial Limusa
27. Investigación de operaciones en la ciencia administrativa/ G. D. Eppen/ Editorial Prentice Hall

Publicaciones:

28. Centro empresarial. Instituto Tecnológico y de Estudios superiores de Monterrey, Campus Estado de México. De: <<http://www.cem.itesm.mx/centro/caract.html>>
29. Congreso Workshop 2000 – agent Based Simulation del 2 al 3 de Mayo en Passau (Alemania). organizado por la Society for Computer Simulation. De: <<http://www.geocities.com/CollegePark/Theater/6277/Esp/SCS.html>>

Simulación de procesos estocásticos en la Ingeniería Industrial

30. Trabajo Análisis de disponibilidades. Realizado por Lanner Group a la fábrica de Renault. De: <<http://www.cartif.es/mantenimiento/simulPa1.html>>
31. Estudio realizado a las células de montaje de Daiphi Metal. De: <<http://www.cartif.es/mantenimiento/simulDal1.html>>
32. Modelo de simulación desarrollado por Guillermo Rein Soto-Yarritu y Ángel de Andrés Martínez, del Instituto de Investigación Tecnológica; de la Universidad Pontificia Comillas. De: <<http://www.iit.upco.es/~rein/granular1/00grs01.html>>
33. Modelos de computadora para la simulación de aguas subterráneas. Centro Internacional de Riesgos en la Universidad Estatal de UTA. De: <<http://www.engineering.usu.edu/iic/spanish/modelsp.html>>
34. Agro simuladores. De: <<http://www.public.iastate.edu/~rjsalvad/manuscripts/reviews/simulacion.html>>
35. El petróleo y la simulación molecular. estudio solicitado por PEMEX al Instituto Mexicano del Petróleo. De: <<http://www.inydes.com.mx/suplemento/anteriores/Septiembre1999/hm/imp.html>>
36. Costos de Rockwell Software. De: <<http://www.arenasimulation.com>> y tienda comercial electrónica. De: <<http://www.monografias.preciomania.com>>