TRAB
IID2003
P4

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROBLEMARIO DE SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

Trabajo de ascenso presentado ante la ilustre Universidad Católica Andrés Bello para optar a la clasificación de profesor Asistente

César Pérez Mínguez
Febrero 2003

Universidad Católica Andrés Bello
BIBLIOTECA
Caracas

Contenido

Prefacio 2

1. Introducción 4

Propósito de una simulación 4

Cuando no usar simulación 5

Sistemas y su ambiente 6

Componentes de un sistema 7

Sistemas continuos y discretos 8

Pasos en un estudio de simulación 9

2. Problemas

Nivel básico 15

Nivel intermedio 23

Nivel Avanzado 34

3. Ejemplo de informe final de un proyecto de simulación 44

4. Ejemplo de una especificación funcional ... 52

5. Anexos 74

A MANERA DE PREFACIO

Escribí este problemario para intentar llenar un vacío. A la fecha de su elaboración, son pocos los ejemplos y problemas en castellano, en el área de simulación, al alcance del estudiante en Venezuela.

En ese sentido, esta obra tiene como propósito ofrecer al estudiante un primer contacto con situaciones diversas que se pueden plantear y/o responder mediante la aplicación de técnicas de simulación de eventos discretos.

El Ingeniero debe ser capaz de APLICAR sus conocimientos en el planteamiento y solución de problemas prácticos, y ese ha sido el enfoque de este problemario. Al revisar obras sobre el tema de simulación escritas en otros idiomas, se observa que hay dos tendencias: una, que prevaleció hasta hace pocos años, fue la de plantear y resolver problemas matemáticos relacionados con la simulación; por ejemplo: diseño de generadores de números aleatorios que cumplieran ciertos requisitos, verificación de los valores de autocorrelación entre las variables de un modelo como parte de la labor de validación del modelo. Estos son problemas importantes que se plantean cuando se han cumplido algunos pasos previos en el desarrollo de un proyecto de simulación, tales como: definir apropiadamente los objetivos, definición de los componentes del sistema a modelar, construcción del modelo, verificación, validación, análisis de resultados.

El enfoque de este problemario se dirige más a la construcción y análisis de resultados de los modelos. El desarrollo de "software" de simulación, de carácter general, y cada vez más de carácter específico para diversas áreas de aplicación, como: distribución, centro de atención a clientes, manufactura, etc. transfiere la responsabilidad por el cumplimiento de condiciones estadísticas que no afecten la validez de los resultados, a los fabricantes del "software" y no al diseñador.

Un tema tan amplio como simulación, para un primer problemario, debe limitarse a un área específica. He escogido la simulación de eventos discretos por ser la de aplicación más amplia; también por ser la que se enseña en el pregrado de Ingeniería Industrial. Los ejercicios están graduados en tres niveles: básico, intermedio y avanzado. La clasificación da una idea del tiempo que se le debe dedicar a cada ejercicio para su resolución: básico, menos de una hora, intermedio, entre 1 hora y 2 horas, avanzado: más de dos horas. El tiempo es reflejo de la complejidad del ejercicio.

Los modelos a construir en cada problema se pueden desarrollar en cualquier "software" general de simulación de eventos discretos. Evidentemente, el "software" utilizado en la formulación de este problemario es el disponible en la Universidad Católica Andrés Bello al momento de su publicación: Arena versión 3.0

Espero que mis lectores disfruten, al menos tanto como yo, el trabajo en el área de simulación. Tendrán grandes satisfacciones.

Caracas, Febrero 2003

1. INTRODUCCIÓN

Simulación es la imitación de la operación de un proceso, o sistema, real en un período de tiempo.

Simular un sistema requiere generar una historia artificial; su análisis permitirá inferir las características del sistema real.

Un modelo de simulación representa los aspectos más importantes del sistema real que se quiere imitar. El modelo se desarrolla con base en **supuestos** sobre la operación del sistema. Esos supuestos se expresan mediante relaciones matemáticas, lógicas y simbólicas entre las **entidades** del sistema. Una entidad es un objeto que interesa representar en el modelo.

Una vez desarrollado y validado un modelo, se puede utilizar para investigar una amplia gama de preguntas sobre el comportamiento del sistema. Los cambios potenciales al sistema real se pueden simular para predecir su impacto en el desempeño. La simulación se puede utilizar para estudiar sistemas en su fase de diseño, antes de que se construyan. La simulación se utiliza, también, como una herramienta de análisis para predecir el efecto que tendrán los cambios en el sistema en su desempeño y como herramienta de diseño para predecir el desempeño de nuevos sistemas ante diferentes situaciones.

PROPÓSITO DE UNA SIMULACIÓN

La simulación es una herramienta muy útil en investigación de operaciones y análisis de sistemas. La aparición de lenguajes de uso general y del aumento en la capacidad de procesamiento de las computadoras de escritorio la hacen

una metodología de uso cada vez más frecuente. La simulación se puede utilizar para uno o más de los siguientes propósitos:

1. Estudio de, y experimentación con, las interacciones de un sistema complejo.
2. Simulación de cambios en la información, organización o ambiente en una empresa y conocimiento de cómo afectan esos cambios el comportamiento del sistema.
3. El conocimiento que se obtiene al diseñar un modelo de simulación es de gran valor para sugerir mejoras en el sistema investigado.
4. Al cambiar las entradas al sistema simulado y observar las salidas se puede obtener una mayor comprensión sobre cuales variables son las más importantes y cómo interactúan las variables.
5. La simulación se puede utilizar como un recurso didáctico para reforzar las soluciones obtenidas por métodos analíticos.
6. La simulación se puede utilizar para experimentar con nuevos diseños o nuevas políticas de empresa.
7. La simulación se puede utilizar para validar soluciones analíticas
8. Al simular diferentes capacidades para una máquina, se pueden establecer los requerimientos para esa máquina, o para otras partes del proceso productivo.
9. Los modelos de simulación utilizados en adiestramiento de personal permiten el aprendizaje sin interrumpir las operaciones.

CUANDO NO USAR SIMULACIÓN

1. Cuando el problema se puede resolver usando el sentido común.
2. Cuando el problema se puede resolver analíticamente
3. Cuando es más sencillo experimentar con el sistema real

4. Cuando el costo de simular es mayor que el beneficio que se va a obtener.
5. Cuando los recursos para simular no están disponibles.
6. Cuando no se tiene el tiempo necesario
7. Cuando no se tienen los datos
8. Cuando no se puede verificar o validar el modelo.
9. Si las expectativas del cliente (obtener mucho en corto tiempo) no son razonables en relación al tiempo y los recursos aportados.
10. Si el comportamiento del sistema es muy complejo y no se puede conocer.

SISTEMAS Y SU AMBIENTE

Un sistema es un conjunto de objetos que se unen mediante interacciones para alcanzar algún objetivo.

> **Ejemplo:** un sistema que produce automóviles: las máquinas, las piezas que componen el automóvil y los trabajadores operan en conjunto una línea de ensamblaje para producir un vehículo de alta calidad.

Un sistema se ve afectado por cambios que ocurren externamente. Se dice que esos cambios ocurren en el ambiente del sistema.

Al modelar sistemas se debe decidir cual es la frontera entre el sistema y su ambiente. Esta decisión suele depender del propósito del estudio.

> **Ejemplo:** en el caso de un sistema fabril: los factores que controlan la llegada de órdenes se pueden considerar como externos al sistema y por lo tanto, están en el ambiente. Sin embargo, si se desea tomar en cuenta el efecto que la oferta tiene sobre la demanda, habrá una relación entre

los productos y la llegada de órdenes y esa relación se debe tomar en cuenta a la llegada de órdenes.

En el caso de un banco, podría haber un límite en la tasa de interés. Si se estudia un solo banco, ésta es una limitación impuesta por el ambiente. Si se estudia el efecto de algunas leyes sobre el sistema bancario: la fijación del límite sería una actividad dentro del sistema.

COMPONENTES DE UN SISTEMA

Entidad: Un objeto de interés en el sistema
Atributo: es una propiedad de una entidad
Actividad: es un período de tiempo de duración conocida

Ejemplo: en un banco, los clientes pueden ser algunas de las entidades representadas, el saldo de sus cuentas corrientes puede ser un atributo, efectuar depósitos puede ser una actividad.

Estado: es el conjunto de variables necesario para describir el sistema en cualquier instante de tiempo, en relación con los objetivos del análisis.

Ejemplo: en un banco, algunas variables de estado pueden ser: el número de cajeros ocupados, el número de clientes esperando en cola o siendo atendidos, el tiempo de llegada del siguiente cliente.

Evento: es una ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.

Endógeno: son las actividades y eventos que ocurren dentro del sistema

Exógeno: son las actividades y eventos que ocurren en el ambiente que afectan al sistema

Ejemplo: Evento exógeno: llegada de un cliente a un banco
Evento endógeno: completación de la atención a un cliente

Modelo (de un sistema): es una representación del sistema para su estudio

SISTEMAS CONTINUOS Y DISCRETOS

Un sistema discreto es aquel en el que las variables de estado cambian en instantes discretos de tiempo. Un banco suele ser un sistema discreto porque la variable de estado "número de clientes en el banco" cambia solamente cuando llega un cliente, o cuando se ha completado la atención a un cliente.

Un sistema continuo es aquel en el que las variables de estado cambian continuamente en el tiempo. Un ejemplo es el nivel de agua en un tanque: durante el llenado, el nivel cambia tomando todos los valores posibles de volumen en el tanque. Durante el vaciado el volumen toma todos los valores posibles.

Un sistema combinado tiene elementos discretos y elementos continuos.

PASOS EN UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Todo estudio debe comenzar con un enunciado del problema a resolver. Si el enunciado lo recibe el analista que va a hacer el trabajo, debe asegurarse que sea claro para todos los participantes en el estudio. Si el analista debe formular el problema, igualmente debe asegurarse que todos estén de

acuerdo. En algunos casos, según se avanza en el estudio y se tiene una mayor comprensión del sistema, se puede elaborar un nuevo enunciado.

2. FIJAR OBJETIVOS Y ELABORAR UN PLAN

Los objetivos establecen las preguntas que se responderán con el estudio. En este punto se debe analizar si la simulación del sistema es la metodología más apropiada para resolver el problema y alcanzar los objetivos.

Si la simulación es la técnica más adecuada, el plan para el proyecto debe incluir las diferentes alternativas a considerar y un método para evaluar la efectividad de esas alternativas.

El plan también debe incluir cuantas y cuales personas participarán en el estudio, el costo del estudio y el tiempo requerido para completar cada fase del trabajo y los resultados que se esperan de cada fase.

3. CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

La construcción del modelo es, en parte, un arte, y en parte, una ciencia. El arte incluye la habilidad de extraer los aspectos esenciales de un problema, seleccionar y modificar los supuestos básicos que los caracterizan y enriquecer el modelo hasta tener una aproximación de utilidad. Por ello, es preferible comenzar con un modelo sencillo e ir trabajando hacia una mayor complejidad. Sin embargo, la complejidad del modelo no debe exceder la requerida para alcanzar los objetivos propuestos. Si no se sigue este principio, los costos y duración del modelo aumentan considerablemente. No es necesario que haya una correspondencia uno a uno entre el modelo y el sistema real. Sólo se requiere lo importante del sistema real. Es recomendable la participación del usuario en la conceptualización del modelo. Esto tendrá una influencia positiva en la calidad del modelo final y aumentará la confianza en los resultados.

4. OBTENCIÓN DE DATOS

Hay una interacción continua entre la construcción del modelo y la obtención de los datos necesarios. En la medida que cambia la complejidad del modelo, también pueden cambiar los datos requeridos. Puesto que la obtención de datos toma un período largo de tiempo (que representa una gran parte del tiempo total disponible para la simulación), es recomendable comenzar cuanto antes, generalmente, junto con la construcción del modelo. Los objetivos del estudio indican, en gran medida, los detalles que se requerirán en los datos.

Por ejemplo: al estudiar un banco, si se desea conocer cual es la longitud de los colas de espera como una función del número de cajeros, los datos requeridos serán: la distribución de tiempo entre llegadas (para diferentes horas del día), la distribución del tiempo de atención de los cajeros y las distribuciones históricas de longitud de las colas bajo diferentes condiciones. Éstos últimos se utilizarán para validar el modelo.

5. TRADUCCIÓN DEL MODELO

Puesto que la mayoría de los sistemas reales se representan con modelos que requieren grandes recursos de almacenamiento y procesamiento de datos, el modelo se debe convertir a un código reconocible por una computadora. El analista o modelador debe decidir cual "software" para aplicaciones especiales. El anexo 1 muestra una lista parcial del "software" en uso en aplicaciones industriales. Los productos más recientes son amigables y no requieren que se aprenda un lenguaje de programación, haciendo que la codificación del modelo sea un proceso muy rápido.

6. VERIFICAR EL MODELO

La verificación del programa de computación se hace para asegurarse que funcione correctamente. En algunos modelos complejos es difícil, si no imposible, codificar en un lenguaje sin cometer errores. Cuando los

parámetros de entrada y la estructura lógica estén representados correctamente en el computador, se ha completado la verificación.

7. VALIDAR EL MODELO

Validar es confirmar que el modelo es una representación precisa del sistema real. La validación se logra mediante una calibración del modelo, la cual consiste en un proceso iterativo que compara los resultados del modelo con el desempeño del sistema real. Las diferencias entre ambos y el conocimiento del modelo y del sistema real se utilizan para mejorar el modelo. Este proceso de mejoramiento se repite hasta que la precisión del modelo sea aceptada. EN el ejemplo del banco: se obtuvieron datos sobre la longitud de las colas en las condiciones actuales: ¿reproduce el modelo lo que ocurre en el sistema real? Esta es una forma de validar.

8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Las alternativas que se van a simular se deben definir. Con frecuencia, la decisión sobre cuales alternativas simular puede ser función de las corridas completadas y analizadas. Para cada diseño del sistema que se va a simular, se debe tomar decisiones sobre la longitud del período de inicialización, la longitud de la corrida de simulación y el número de replicaciones en cada corrida.

9. CORRIDAS DE PRODUCCIÓN Y SU ANÁLISIS

Las corridas de producción consisten en el trabajo de cálculo que efectúa la computadora con el modelo (o modelos) suministrado(s). Se utilizan para estimar las medidas de desempeño del sistema para cada diseño que se esté simulando.

10. ¿HACEN FALTA MÁS CORRIDAS?

Al completar el análisis de las corridas, el analista debe decidir si requiere más corridas y el diseño que debe seguir en esos experimentos adicionales.

11. ELABORAR INFORME (DOCUMENTACIÓN)

Existen dos tipos de documentación: programas y progreso.

Programas: se refiere al modelo y el código de programación utilizado. Esta documentación es importante si se va a utilizar el programa nuevamente, o si se va a modificar (por el mismo analista, o por otros).

Otro motivo para una adecuada documentación del programa es que los usuarios del modelo puedan cambiar los parámetros para conocer la relación entre los parámetros de entrada y las medidas de desempeño, o para conocer los parámetros de entrada que "optimizan" alguna medida de desempeño.

Progreso: muestran una cronología del trabajo realizado y de las decisiones que se han tomado. Se sugiere que se hagan reportes periódicos de progreso (mensuales o más frecuentes) para que las personas interesadas en el proyecto, pero que no participan en el día a día, estén informados.

Se recomienda que el proyecto tenga varios tangibles que se entreguen según se avanza. Por ejemplo: especificación del modelo, demostraciones de prototipos, animaciones, resultados de entrenamiento, análisis intermedios, documentación de los programas, informes de avance y presentaciones. La entrega de estos tangibles debe estar repartida a lo largo de la duración del proyecto.

Los resultados de todos los análisis se deben incluir en un informe final de manera clara y concisa. Esto permitirá a los usuarios revisar la formulación del modelo, los diferentes sistemas que se consideraron, los criterios de comparación de alternativas, los resultados de los experimentos y la solución recomendada del problema.

Si las decisiones se deben justificar a un nivel superior, el informe final debería suministrar una certificación para el gerente y sumar a la credibilidad del modelo y de su proceso de construcción.

12. IMPLANTACIÓN

El éxito de la fase de implantación depende de qué tan bien se hayan efectuado los once pasos previos. También está sujeto al grado de participación del usuario durante el proceso. Si el usuario ha participado activamente y entiende la naturaleza del modelo y sus resultados, aumenta la probabilidad de una correcta implantación. Si el modelo y sus supuestos no se han comunicado adecuadamente, la implantación no será apropiada, sin importar la validez del modelo.

Los pasos de la metodología se pueden agrupar en cuatro fases:

1ª. Fase: Cubre los pasos 1 y 2. Es un período de descubrimiento y orientación. El enunciado del problema suele no estar claro, los objetivos iniciales se deben revisar y el plan inicial del proyecto seguramente tendrá modificaciones. Estas aclaratorias pueden ocurrir en esta fase, aunque, en ocasiones tienen lugar en alguna fase siguiente.

2ª fase: construcción del modelo y obtención de datos. Cubre los pasos 3, 4, 5, 6 y 7. No existe una clara diferenciación entre los pasos. Se debe incluir al usuario del modelo en esta fase.

3ª fase: Se refiere a correr el modelo. Cubre los pasos 8, 9 y 10. Esta fase debe tener un plan de experimentación con el modelo. De hecho una simulación de eventos discretos es un experimento estadístico. Las variables de resultados son estimados que contienen un error aleatorio, y por lo tanto se requiere un análisis estadístico riguroso. Este enfoque es

diferente al del analista que hace una sola corrida para inferir con esos datos puntuales.

4ª fase: implantación: abarca los pasos 11 y 12. El éxito en la implantación depende de la participación continua del usuario en cada paso del proceso. Quizás el paso más importante sea el de validación, puesto que un modelo no válido llevará a resultados errados, que, si se implantan, pueden ser peligrosos, costosos, o ambos.

Algunas abreviaturas importantes utilizadas en este problemario.

A lo largo del problemario se utilizan con frecuencia, las siguientes abreviaturas:

EXPO(valor): Distribución exponenecial negativa. "Valor" indica la media de la distribución.

UNIF(min, max): Distribución uniforme en el rango: min – max

TRIA(min, moda, max): Distribución triangular con mínimo igual a "min", moda igual a "moda" y máximo igual a "max"

NORM(med, de): Distribución normal con media igual a "med" y desviación estándar igual a "de".

2. PROBLEMAS

NIVEL BÁSICO

El propósito de esta sección es desarrollar destrezas básicas de construcción de modelos, generación e interpretación de resultados.

1. Al terminal de un aeropuerto llegan pasajeros según una distribución exponencial de tiempos entre llegadas con una media de 1,6 minutos. El tiempo de recorrido desde la entrada al punto de atención tiene una distribución uniforme de 2 a 3 minutos. En el mostrador de atención los pasajeros esperan en una sola fila hasta que uno de 5 agentes esté disponible para atenderlos. EL tiempo de atención sigue una distribución normal con media de 7 minutos y desviación estándar de 2 minutos. Al completar la atención los pasajeros son libres de ir a sus puertas de embarque. Construya un modelo de simulación, con animación, de este sistema. Corra la simulación por 16 horas para determinar el tiempo promedio en el sistema, el número de pasajeros que se atienden en los mostradores y el tamaño promedio de la cola.

2. Modifique el ejercicio anterior para incluir tiempos de descanso para los agentes. Las 16 horas están divididas en dos turnos de 8 horas. El descanso de los agentes está escalonado, comenzando a los 90 minutos de cada turno. Cada agente tiene un descanso de 15 minutos. Adicionalmente, hay descansos para almorzar de 30 minutos que comienzan a las 3 horas y media de iniciado el turno. Compare los resultados de este modelo con el del problema anterior.

3. A una estación de trabajo de una sola máquina llegan piezas con una distribución exponencial de media 20 segundos. En la estación son procesadas; su tiempo de procesamiento es TRIA(16,19,22) segundos. Existen características visuales que ayudan a clasificar las piezas en

"aprobadas" o "requiere retrabajo". Las que requieren retrabajo (alrededor de 10%) se transfieren a una estación donde son inspeccionadas en detalle. Las aprobadas salen del sistema. El tiempo de inspección sigue una distribución normal con media 120 segundos y desviación estándar de 12 segundos. El 14% de las piezas que salen de la inspección fallan y se venden como chatarra. Las que pasan la inspección se clasifican como "aprobadas" y salen del sistema. Suponga que todos los tiempos de transferencia son 2 minutos. Corra la simulación por 10000 segundos para conocer el número de piezas aprobadas, número de piezas de chatarra y número de piezas inspeccionadas que salen del sistema.

4. Desarrolle un modelo de un sistema con dos procesos en serie. Llegan artículos al sistema con un tiempo medio entre llegadas de 10 minutos (distribución exponencial negativa). Inmediatamente se envían al proceso 1, el cual tiene una cola ilimitada y un recurso único con un tiempo medio de servicio de 9 minutos. Al completarse, son enviados al proceso 2, el cual es idéntico al 1. Los artículos dejan el sistema al completarse su procesamiento en el proceso 2, Las medidas de desempeño son el número promedio en las colas de cada proceso, y el tiempo en el sistema. Utilice una duración de la replicación de 10.000 minutos. Corra el modelo 4 veces, como se describe a continuación y compare los resultados.

Corrida 1: tiempo entre llegadas exponencial negativo y tiempo de servicio exponencial negativo

Corrida 2: tiempo entre llegadas constante y tiempo de servicio exponencial negativo

Corrida 3: tiempo entre llegadas exponencial negativo y tiempo de servicio constante

Corrida 4: tiempo entre llegadas constante y tiempo de servicio constante

5. En el modelo anterior, utilice una exponencial negativa para los tiempos entre llegadas y una distribución normal para el tiempo de proceso (con media 9 minutos). Analice tres casos: desviación estándar igual a 1, 2, 3. Haga 3 corridas diferentes, cada una de 10.000 minutos y compare los resultados.

6. Utilizando el modelo de la pregunta 4, suponga que el tiempo de proceso tiene una media de 9 minutos y una varianza de 4. Calcule los parámetros para las distribuciones gamma, uniforme y normal que den estos valores. Haga 3 corridas (una para cada distribución) y compare los resultados

7. Utilice el "Input Analyzer" para generar un archivo de datos (Opción File/Data File/Generate New) que contenga 50 puntos de una distribución Erlang con parámetros ExpMean igual a 12, k igual a 3 y Offset igual a 5. En cuanto tenga el archivo, haga una prueba de mejor ajuste. Repita el proceso para 500, 5.000 y 25.000 datos usando los mismos parámetros Erlang. Compare los resultados del ajuste de los cuatro tamaños de muestra.

8. Una cadena de comida rápida tiene interés en estudiar la cantidad de empleados en las horas pico, que van de 10 a.m. a 2 p.m. Los clientes llegan por varias vías: a pie, en carro o en un autobús, como se detalla a continuación:

- A pie: uno a la vez, el tiempo entre llegadas es exponencial negativo con media de 3 minutos.
- En carro: puede haber 1, 2, 3 ó 4 personas en el carro; sus respectivas probabilidades son: 0,2 / 0,3 / 0,3 / 0,2. El tiempo entre llegadas es exponencial negativo con una media de 5 minutos.

- Un autobús llega cada día, entre las 11 a.m. y la 1 p.m. (el tiempo de llegada está distribuido uniformemente en este período). La cantidad de personas en el autobús varía de un día a otro, pero sigue una distribución de Poisson con una media de 30 personas.

Al llegar, los clientes se comportan de manera independiente, sin importar la forma de llegada. La primera parada es en uno de los servidores en el mostrador de ordenar/pagar, donde tomar la orden sigue una distribución triangular (1, 2, 4) minutos y recibir el pago es, también, triangular (1, 2, 3) minutos. Estas dos operaciones son secuenciales: primero recibir la orden y después recibir el pago por el mismo servidor para un mismo cliente. La siguiente parada es tomar la comida ordenada, lo cual toma un tiempo distribuido uniformemente entre 30 segundos y dos minutos. En seguida, cada cliente va al área de comedor, que tiene 30 asientos (la gente se sienta donde quiera, sin importar el grupo en el que vino). La consumición tiene una distribución triangular (10, 20, 30) minutos. Después el cliente se levanta de la mesa y deja el lugar. Se permite hacer cola en cada una de las tres estaciones de servicio (cada una consiste en ordenar/pagar, tomar la comida y consumición) y la regla que se sigue es "Primero que Llega, Primero que Sale". Hay un tiempo de traslado entre cada estación a la siguiente (excepto a la salida): es exponencial negativo de 30 segundos (esto es: de entrada a ordenar/pagar; de ordenar/pagar a tomar la comida; de tomar la comida a consumición. Después de comer los clientes se mueven un poco más lentamente: el tiempo de traslado a la salida es exponencial negativo con media 1 minuto.

Los servidores en ordenar/pagar y tomar la comida tienen un solo momento de descanso que comparten en una forma rotativa, según se detalla: a las 10:50, 11:50, 12:50, 1:50 un servidor de cada estación se toma un descanso de 10 minutos. Si la persona que debe salir de descanso en una estación está ocupada en el momento que llega su hora, termina de atender al cliente, pero

tiene que estar de vuelta a la hora en punto (es decir: su descanso podría ser más breve que los 10 minutos que le corresponden).

El punto de más atención de la cadena de restaurantes es el personal. Actualmente hay seis servidores en la estación de ordenar/pagar y dos en la estación de tomar la comida a lo largo del período de 4 horas. Puesto que saben que el autobús llegará en algún momento en las dos horas alrededor del mediodía están proponiendo un plan de trabajo que tendría:

- tres personas en ordenar/pagar y
- una persona en tomar la comida

  durante la primera y última hora. Durante las dos horas que van de 11 a.m. a 1 p.m. tendrían:

- nueve personas en ordenar/pagar
- tres personas en tomar la comida

Nótese que el número de horas-persona en la nómina son las mismas (32) bajo el sistema actual y el propuesto, de manera que su costo es el mismo. ¿Cuál es su consejo?

En términos de resultados: observe el tamaño promedio y máximo de cada cola y el tiempo promedio y máximo en cada cola. Adicionalmente: el número de clientes que fueron completamente atendidos y que salen del establecimiento. Haga gráficos de animación de las colas de ordenar/pagar y del área de comedor para comprobar que las cosas tienen sentido. Haga animación de todos los movimientos entre estaciones. Tome de la librería apropiada (sufijo .plb) una figura humana y cambie su aspecto cuando terminen de comer y dejen el comedor. Seleccione dibujos adecuados para los servidores individuales (no hace falta que los anime).

9. Sistema de ensamblaje y prueba de componentes electrónicos.

El sistema representa las operaciones finales de producción de un modelo de unidad electrónica sellada.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

Las piezas que llegan son cajas de metal fundido que ya han sido maquinadas para recibir los componentes electrónicos.

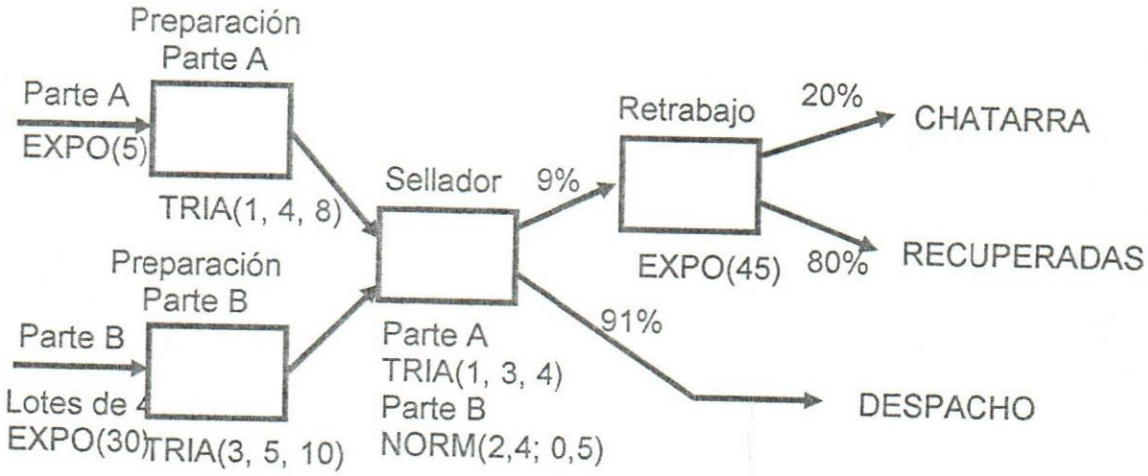


Figura 1: Sistema de ensamblaje y prueba de componentes electrónicos

Existen dos tipos de piezas: Parte A y Parte B.

La parte A se fabrica en otro departamento, fuera de los límites del modelo. Su tiempo entre llegadas es exponencial negativo con una media de 5 minutos. Al llegarse transfieren al "área de preparación de partes A" con un tiempo de tránsito de 2 minutos. En esa área de preparación, se maquinan los bordes de las cajas para asegurar un buen sello y se desbarban y limpian. El tiempo de procesamiento para estas operaciones es triangular (1,4,8). La pieza es transferida al sellador con un tiempo de tránsito de 2 minutos.

La parte B se fabrica en otro edificio, fuera de los límites del modelo, donde se retienen hasta que haya un lote de 4 unidades. EL lote se envía a la operación final que estamos modelando. El tiempo entre llegadas de lotes de partes B es exponencial con una media de 30 minutos. Al llegar al "área de preparación de partes B" el lote se separa en las cuatro unidades, que se procesan individualmente. El procesamiento de la parte B sigue los mismos tres pasos que la parte A, excepto que el tiempo de procesamiento para la operación combinada sigue una distribución triangular (3,5,10). La parte es enviada a un sellador con un tiempo de tránsito de 2 minutos.

En el sellador los componentes electrónicos se colocan, se ensambla la caja y se sella. La unidad sellada se prueba. El tiempo de procesamiento total para estas operaciones depende del tipo de pieza: para la parte A es triangular (1,3,4), para la parte B es normal (2,4;0,5). El 91% de las piezas selladas pasan la inspección y se envían directamente al despacho. El resto se transfiere a un área de retrabajo donde las piezas se desensamblan, reparan, limpian, ensamblan y se prueban nuevamente. El 80% de las piezas pasan esta segunda prueba y se envían a despacho. Las que no pasan la prueba pasan a chatarra. El tiempo de retrabajo sigue una distribución exponencial con una media de 45 minutos y es independiente del tipo de pieza. Todos los tiempos de transferencia son 2 minutos.

Deseamos conocer la utilización de cada operación, cantidad en la cola, tiempo en la cola y tiempo del ciclo de las piezas despachadas, retrabajadas y buenas, retrabajadas y chatarra. Correremos la simulación por 2000 minutos. Como hay transferencias, deseamos ver el flujo mediante animación. El objetivo es identificar oportunidades de mejora en el proceso.

Corra el modelo. Responda las siguientes preguntas:

1) ¿Cuantas partes se fabricaron? ¿cuántas fueron a chatarra? ¿cuántas se retrabajaron?
2) ¿Cuál es el tiempo promedio de espera de las partes en cada recurso?
3) ¿Cuál es el tamaño promedio de la cola en cada recurso?
4) ¿En cual recurso está la mayor oportunidad de mejora? (Utilice como criterios: el % de utilización y el tamaño de la cola)

10. Al validar el modelo anterior se aclara que usted no tenía una definición completa del sistema de trabajo, pues se trabajan dos turnos y usted sólo tiene representado uno en su modelo. En el segundo turno hay dos operadores asignados al retrabajo. Esto explica, en parte, los resultados obtenidos en ese recurso. Otra observación importante es que hay un problema operacional en el sellador, pues la máquina falla con cierta periodicidad. Ya se tienen algunos datos sobre el efecto que tienen esas fallas en la operación de sellado. La conclusión es que no amerita mejorarla, pues la operación no es un cuello de botella.

Los datos para el sellador son:

- El tiempo medio de servicio entre fallas es de 120 minutos y la distribución es exponencial.
- El tiempo de reparar la máquina es exponencial con media 4 minutos

Modifique el modelo y observe el efecto de esos cambios en las variables que miden el desempeño del sistema.

PROBLEMAS NIVEL INTERMEDIO

El objetivo se esta sección es desarrollar destrezas de construcción de modelos medianamente complejos y la interpretación estadística de resultados.

11. En la figura 2 se muestra la distribución en planta de un pequeño sistema de manufactura.

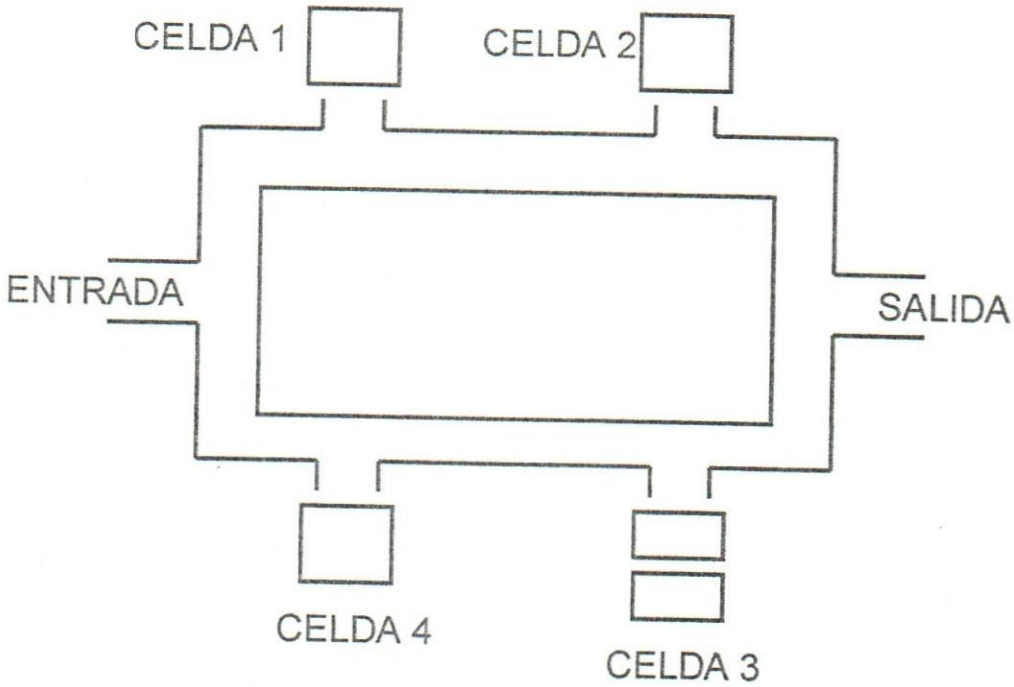


Figura 2: Pequeño sistema de manufactura

El sistema consiste en la llegada de piezas para su procesamiento, cuatro celdas de manufactura y la salida de piezas. Las celdas 1, 2 y 4 tienen una sola máquina. La celda 3 tiene dos máquinas idénticas, una de ellas es más moderna que la otra y procesa las piezas en el 80% del tiempo que la otra máquina. El sistema produce tres tipos de piezas; cada una sigue una secuencia de procesamiento diferente. Los tiempos de procesamiento en minutos se encuentran en la tabla 1. Todos los tiempos de procesamiento tienen una distribución triangular. El tiempo de procesamiento de la celda 3 corresponde a la máquina más lenta.

Tabla 1: secuencia y tiempos de procesamiento					
Tipo de pieza	Celda/tiempo	Celda/tiempo	Celda/tiempo	Celda/tiempo	Celda/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		

Los tiempos entre llegadas combinados para todas las piezas tienen una distribución exponencial negativa con media 13 minutos. La distribución para cada tipo de pieza es: 26% pieza 1; 48% pieza 2; 26% pieza 3. Las piezas llegan por el lado izquierdo y salen por el lado derecho y se mueven en el sentido de las agujas del reloj. Asumiremos que el tiempo requerido para mover una pieza entre una celda y otra es de 2 minutos.

Se desea obtener resultados sobre: la utilización de los recursos, el tiempo y número de piezas en cola y el tiempo que tardan las piezas en procesarse (desde que llegan hasta que salen del sistema), para cada tipo de pieza. Corra la simulación por 2000 minutos.

12. ¿Cuál será el valor de las medidas de desempeño del ejercicio anterior (tiempo en la cola, cantidad en la cola y tiempo en el sistema) si se consideran todos los tipos de piezas, en lugar de obtener medidas por tipo de pieza?
Haga 20 replicaciones de 100 piezas completadas cada una y calcule el intervalo de confianza para un nivel de confianza de 95% para el promedio esperado de tiempo en el sistema.

13. Una pieza llega cada tres minutos a un sistema con tres estaciones de trabajo. Existen cuatro tipos de piezas, cada una con la misma probabilidad de llegada. Los planes de proceso para cada tipo de pieza se muestran en la

tabla2. Las cifras indican el promedio y desviación estándar de una distribución normal, en minutos.

Tipo de pieza	Estación de trabajo/ Tiempo de proceso	Estación de trabajo/ Tiempo de proceso	Estación de trabajo/ Tiempo de proceso
Pieza 1	A 9,5; 2	C 14,1; 2,8	
Pieza 2	A 13,5; 2,3	B 15; 3	C 8,5; 2,1
Pieza 3	A 12; 1,8	B 9,5; 2,1	
Pieza 4	B 12,6; 1,7	C 11,4; 1,4	

Tabla 2: Secuencia de procesamiento y tiempos de proceso para el problema13

Suponga que el tiempo de transferencia entre cada estación es el mismo: 3 minutos. ¿Cuál es el tiempo en el sistema de cada tipo de pieza? Corra la simulación por 5000 minutos.

14. Modifique el problema anterior para que todas la piezas sigan la misma ruta en el sistema: Estación A – Estación B – Estación C. Si una pieza no requiere procesamiento en una estación, debe esperar en la cola, pero su tiempo de procesamiento es cero. Compare los resultados con los obtenidos en el problema anterior.

15. Modifique los modelos de los dos problemas anteriores, de la siguiente forma: haga 25 replicaciones de 5000 minutos cada una. Calcule el intervalo de 95% de confianza para la variable: tiempo en el sistema de la pieza 2. Los valores que tome esta variable serán la base de comparación. Estime la diferencia esperada entre los resultados de los dos modelos.

16. A una oficina pública llegan personas a solicitar dos tipos de servicio: solicitud de nuevas licencias y renovaciones de licencias.

La solicitud de nuevas licencias tiene tiempos entre llegadas que siguen una distribución exponencial negativa con media igual a 6,8 minutos y tiempo de servicio que sigue una distribución triangular con mínimo, moda y máximo igual a 8,7; 13,7; 15,2.

Las personas que desean renovar su licencia tienen los tiempos entre llegadas que se muestran en el anexo 2; el tiempo de servicio sigue una distribución triangular con mínimo, moda y máximo igual a 16,7; 20,5; 29,2.

La oficina tiene dos colas: una para cada tipo de cliente; y tiene cinco empleados para la atención: dos para nuevas licencias, dos para renovaciones y el quinto puede atender a ambos, según se requiera. El criterio que utiliza es atender a las personas que tengan mayor tiempo de espera.

Suponga que los empleados están disponibles durante toda la jornada de trabajo, de 8 horas. Efectúe 30 replicaciones y calcule el intervalo de confianza del 95% para el tiempo esperado en el sistema para cada tipo de servicio.

17. En el ejercicio anterior: existe la posibilidad de entrenar a un empleado que atiende la solicitud de nuevas licencias para que también atienda renovaciones. Modifique el modelo. Efectúe 30 replicaciones y calcule la diferencia esperada entre ambos sistemas (para el tiempo en el sistema de las personas).

18. Modifique el modelo anterior para incluir un receso de 30 minutos para almorzar para cada empleado. Comience el primer receso cuando haya transcurrido 180 minutos en la jornada de trabajo. A partir del primer receso, los siguientes siguen en secuencia (tan pronto termina uno, comienza el siguiente). La secuencia de almuerzo es como sigue:

1º. Empleado de licencias nuevas.

2º. Empleado de renovaciones

3º. Supervisor

4º. Empleado de licencias nuevas

5º. Empleado de renovaciones

Efectúe 30 replicaciones y estime la diferencia esperada entre cada sistema.

19. Tres tipos de clientes llegan a un pequeño aeropuerto. El 15% de ellos llega sin boleto y requiere comprar uno. El 30% no requiere boleto, pero necesita registrar equipaje, el 55% restante no requiere boleto ni requiere registrar equipaje.

La distribución del tiempo de llegada para todos los clientes combinados es exponencial negativa con una media de 1,3 minutos. Los que requieren registrar equipaje van directo al mostrador de equipaje a efectuar el registro; el tiempo para ello tiene una distribución triangular con una mínima, moda y máxima igual a 2, 4 y 5 minutos. Después continúan a la inspección de rayos X y siguen a la puerta de salida.

Los que requieren comprar boleto van al mostrador de venta, compran el boleto (distribución exponencial negativa con media de 7 minutos), siguen con la inspección de rayos X y siguen a la puerta de salida.

Los que no requieren boleto ni registrar equipaje van directo a la inspección de rayos X y siguen a la puerta de salida, donde les entregan su pase de embarque (la distribución de tiempo para ello es triangular 1; 1,5; 3).

Cada uno de los tres puntos de atención (equipaje, venta, puerta de salida) está atendido por un empleado. El tiempo para los rayos X es exponencial negativo con media 1 minuto. Todos los tiempos de transferencia son exponenciales negativos con media 2 minutos. Corra el modelo por 920 minutos y registre la utilización de los recursos, colas y tiempo en el sistema para todos los clientes combinados.

20. El aeropuerto descrito en el ejercicio 19 está considerando unir los mostradores de venta y equipaje en un solo mostrador con dos personas atendiéndolo. Efectúa la modificación y corra este modelo, y el original, por 20 replicaciones y compare los resultados basados en el tiempo combinado en el sistema. Utilice una técnica estadística apropiada para el análisis de resultados.

21. Un producto requiere 2 días para su manufactura. Las operaciones durante el primer día requieren la fabricación del producto base, el cual debe reposar toda la noche antes de las operaciones de acabado que se efectuarán al día siguiente. Las operaciones del primer día no tienen problema con la capacidad. EN el segundo día se efectúan dos operaciones de acabado por uno de tres equipos, sin que haya preferencia por un equipo en especial. Cada equipo consiste en dos operadores, uno para cada operación. Puesto que las operaciones de acabado requieren una gran destreza, los tiempos de operación para cada una son diferentes. Estos tiempos están indicados en la tabla; las cifras indican el mínimo, moda y máximo de distribuciones triangulares. Las partes terminadas se envían a una empacadora que tarda TRIA(2,2; 2,9; 4,1). Todas las piezas entregadas al departamento de acabado deben procesarse ese mismo día, o si no se pierden puesto que antes del proceso de acabado, son perecederas. Desarrolle un modelo de este sistema que produzca 130 unidades al día. Si hay 460 minutos para producir en un día, ¿qué porcentaje del tiempo estarán las piezas completas antes del fin del día, basado en 50 replicaciones? (Ayuda: imprima el valor de la variable TNOW y guárdelo en un archivo. Este será el tiempo requerido para producir todas las piezas del día)

Equipo	Tiempo de la operación 1	Tiempo de la operación 2
1	6,1; 8,2; 11,4	5,1; 7,3; 13,6
2	6,9; 9,1; 12,7	5,7; 8,6; 14,2
3	8,2; 10,3; 14,1	7,1; 9,2; 15,9

Tabla 3: tiempos de operación para el problema 21

22. Modifique el modelo del ejercicio 11 para incluir un nuevo cliente adicional al existente. Este nuevo cliente requiere que se fabriquen dos tipos de piezas

adicionales (pieza 4 y pieza 5). El proceso de llegada es adicional al existente e independiente del proceso original de llegada para los tres tipos de piezas anteriores; tiene una distribución exponencial negativa de tiempos entre llegadas con una media de 15 minutos. Cuando las piezas llegan, el 40% corresponden a las piezas tipo 4 y el resto a las tipo 5. En la tabla 4 están los planes de proceso y los tiempos medios de procesamiento (en minutos) para las piezas nuevas.

Tipo de pieza	Celda/ tiempo medio de proceso	Celda/ tiempo medio de proceso	Celda/ tiempo medio de proceso	Celda/ tiempo medio de proceso
4	1 6,1	3 5,2	2 1,3	4 2,4
5	2 3,5	3 4,1	4 3,2	1 2,0

Tabla 4: tiempos de proceso promedio para las nuevas piezas

Existe incertidumbre sobre el tipo de distribución de los tiempos de proceso mostrados en la tabla 4. A usted se le ha pedido que suponga que las distribuciones son uniforme con la media indicada, con mínima y máxima a 0,2 minutos de la media; por ejemplo: para la media 6,1, suponga que la distribución es uniforme entre la mínima de 5,9 y la máxima de 6,3. Al igual que en el caso del problema 11, permita que en el modelo entren 100 piezas (tipo 4 más tipo 5).

a) Evidentemente, al añadir estas nuevas piezas, el sistema se va a congestionar, comparado a como estaba antes. Utilice el tiempo en el sistema para todas la piezas producidas (el conjunto para los 5 tipos de piezas). Compare los valores de esta variable en el problema original y el caso actual. Haga 20 replicaciones y efectúe la comparación estadística apropiada.

b) En un intento por mejorar la situación del sistema, a usted le han asignado un presupuesto para que compre una máquina nueva, que se

puede colocar en la celda 1, 2 ó 4, pero no en la 3. ¿Dónde recomendaría que se ubique? Suponga que trabajará a la misma velocidad que la máquina que está en la celda a la cual se añade. Haga 20 replicaciones y calcule el intervalo de 95% de confianza para el tiempo en el sistema promedio combinando para todas las piezas.

23. Modifique el problema 13 para incluir levantacargas para transportar las piezas entre una celda y otra. Suponga que hay dos levantacargas que se mueven a 28 metros por minuto. El tiempo de carga o descarga de cada uno es 0,25 minutos. La distancia entre las celdas se muestra en la tabla 4. Note que las distancias son vectores (ir de una celda a otra puede tener una distancia diferente que el regreso)

		Hacia				
		Llegada	**A**	**B**	**C**	**Salida**
Desde	**Llegada**	0	30	30	60	100
	A	30	0	50	30	75
	B	30	50	0	30	60
	C	80	30	30	0	30
	Salida	120	80	75	30	0

Tabla 5: distancias para el problema 23

Corra la simulación por 100000 minutos.

a) Suponga que los levantacargas permanecen en la celda donde descargaron la última pieza, si no hay otro requerimiento pendiente.
b) Suponga que los levantacargas siguen un patrón en círculo en el sistema (Llegada, celda A, celda B, celda C, salida)

24. Modifique el problema 13 con el propósito de incluir correas transportadoras no acumulativas para la transferencia de piezas entre las celdas. Suponga que hay una sola correa que comienza en la zona de llegada y continúa hasta la

zona de salida (Llegada – celda A – celda B – celda C – salida). Suponga que las distancias entre las celdas adyacentes son 30 metros, y que las celdas de la correa son de 0,75 mts; cada pieza requiere 1,5 mts de espacio en la correa. Los tiempos de carga y descarga son 0,25 minutos. La velocidad de la correa es 7 mts. por minuto.

25. Se está diseñando un prototipo para un sistema de inspección de equipaje por rayos X en un aeropuerto, tal como muestra la figura 3. Los equipajes llegan al sistema con tiempos entre llegadas que siguen una distribución exponencial negativa con media 0,25 minutos, se cargan en una correa transportadora de 25 mts. de longitud y se transportan a la zona de inspección inicial. En esa zona, el equipaje se coloca en un canal a la espera de la inspección inicial. Esta inspección tiene una duración TRIA(0,1; 0,25; 0,35). Según sean los resultados de la inspección, los equipajes aceptados (que son el 79%) se cargan en una correa transportadora de salida de 13 mts. de longitud donde salen del sistema. El equipaje rechazado se coloca en una correa secundaria donde ingresan en un canal donde esperan por una inspección visual, que toma TRIA(0,6; 1,2; 1,4). Después de la inspección, se les envía a una segunda inspección por rayos X que toma 1,2 minutos y en la cual solamente se puede inspeccionar una pieza de equipaje a la vez. Al final de la segunda inspección de rayos X, los equipajes se inspeccionan visualmente una segunda vez con una duración EXPO(0,4). Según sean los resultados de esta segunda inspección, el equipaje aceptado se carga en una segunda correa transportadora para salir del sistema. La longitud de esta correa es 7,5 metros. Todas las correas son no acumulativas y su velocidad es 13 metros por minuto. Desarrolle un modelo de este sistema y córralo por 2000 minutos.

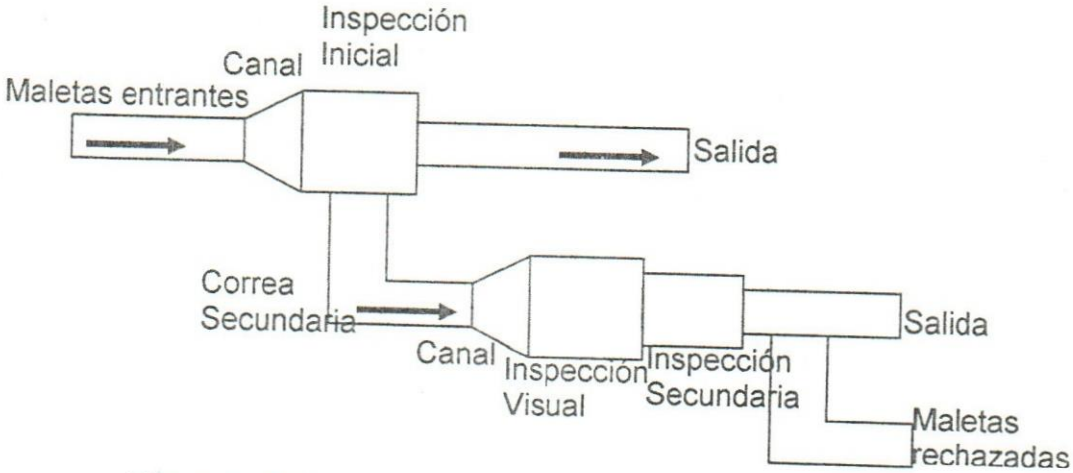


Figura 3: Sistema de Inspección de equipaje (problema 25)

La capacidad del canal en la primera estación de inspección es de 20. La capacidad del canal en la segunda estación de inspección es de 25, sin incluir el equipaje que se está inspeccionando. ¿Qué porcentaje del tiempo se excede esta capacidad?

26. Construya un modelo de un sistema de andenes que agrupan y transfieren material para su posterior despacho. La instalación tiene cinco andenes para manejar la entrada de material y tres para manejar la salida. A los andenes de entrada llegan camiones con material cargado en paletas. El tiempo entre llegadas sigue una distribución uniforme con mínima 30 minutos y máxima 60 minutos para cada andén de llegada. Cada camión trae una cantidad de paletas que sigue una distribución uniforme con mínima 10 y máxima 25 minutos. Estas paletas se deben transferir a los andenes de salida. Suponga que una paleta tiene la misma probabilidad de ser transferida a cualquiera de los tres andenes de salida. Cuando llega un camión, un dispositivo de descarga automático descarga las paletas en el andén de entrada. Suponga que este proceso no consume tiempo, de manera que las paletas están listas instantáneamente para ser transferidas. Las paletas son transferidas por uno de cinco levantacargas hasta los andenes de salida, que están ubicados en el lado opuesto del edificio. La distancia entre cualquier andén de entrada y cualquier andén de salida es 25

metros; los levantacargas se mueven a 25 metros por minuto. El tiempo que toma un levantacargas para cargara una paleta es UNIF(0,3; 0,4) y para descargarla UNIF(0,2; 0,4). La medida de desempeño que interesa es el tiempo que una paleta lleva en el sistema. (si se colocan todos los levantacargas en los andenes de salida como posición inicial, n se deben definir distancias entre los andenes de entrada) Desarrolle un modelo para cada uno de los tres casos que se detallan a continuación:

a) Suponga que la prioridad es transferir primero las paletas que han esperado por más tiempo (Coloque el nombre del atributo con el tiempo de llegada en el campo de prioridad del diálogo de salida).
b) Debido a una congestión potencial, dedique un solo levantacargas a cada andén. Modifique su modelo para incluir esta opción. (seleccione "SPECIFIC UNIT" en el diálogo de "Transfer Out")
c) Puesto que queremos asegurarnos que un camión entrante siempre pueda descargar, modifique su modelo de la sección (a) para que la prioridad se coloque sobre el andén entrante con el mayor número de paletas (Desarrolle una expresión que utilice NQ para el campo de prioridad).

¿Cuál de las tres opciones anteriores aparenta ser la "mejor"? Defina su propio criterio y asegúrese de justificar sus conclusiones con un análisis estadístico válido. Adicionalmente, para las opciones (a) y (c) estudie el efecto de tener un levantacargas menos (es decir: 4) o uno más (es decir: 6); tenga cuidado con la poca credibilidad que supone un análisis estadístico inadecuado o incompleto.

PROBLEMAS NIVEL AVANZADO

El objetivo de esta sección es desarrollar destrezas de construcción detallada de modelos complejos, tales como: procesos de llegada no estacionarios, proyectos completos de simulación (por ejemplo: problema 31: la supertienda y la especificación funcional para el Washington Post).

27. El sistema de atención de llamadas

El sistema de atención de llamadas tiene un número telefónico al cual llaman los clientes para obtener: soporte técnico, información de ventas, y el estado de las órdenes. Este número tiene 26 líneas. Si todas están en uso, se obtiene una señal de ocupado y deberá llamar de nuevo. Para atender una llamada, se oye una grabación que describe las tres opciones: transferencia a soporte técnico, información de ventas, solicitud de datos de órdenes (76%, 16% y 8%). El tiempo estimado de esta actividad es uniforme (0,1; 0,6) minutos.

Si la persona que llama selecciona soporte técnico, otra grabación solicita el tipo de producto para el cual desea información. Esto requiere (0,1; 0,5) minutos. El porcentaje de solicitudes para los productos 1, 2 y 3 son: 25%, 34% y 41%. Si una persona de soporte técnico, debidamente calificada, está disponible para el tipo de producto solicitado, se enruta automáticamente la llamada a esa persona. Si no está disponible, el cliente se coloca en una cola electrónica donde escucha música estridente hasta que la persona de soporte técnico esté disponible. El tiempo de atención de las llamadas de soporte técnico es triangular (3, 6 ,18) minutos. Al completarse la llamada, el cliente sale del sistema. Cuatro por ciento de las llamadas de soporte técnico requiere una posterior investigación después de la llamada. Las preguntas que hacen los clientes se remiten a otro grupo técnico que prepara la respuesta. El tiempo para preparar estas respuestas se estima exponencial con media de 60 minutos. La respuesta se devuelve a la persona que atendió al cliente, quien

debe llamar y darle la respuesta. Este tiempo es triangular (2, 4, 9) minutos. Esta llamada utiliza una de las 26 líneas y tiene prioridad sobre las llamadas entrantes. Si una llamada a devolver no se puede completar el mismo día que se recibió la pregunta del cliente, se devuelve al día siguiente.

Las llamadas de ventas se enrutan automáticamente al personal de ventas. Si un vendedor no está disponible, el cliente escucha música moderna adulto contemporáneo. Se estima que el tiempo de atención en ventas es triangular (4, 15, 45). Al terminar la llamada, el cliente sale del sistema.

Los clientes que solicitan información sobre órdenes son atendidos automáticamente por el sistema telefónico. No hay límite en el número que puede manejar el sistema (excepto por la limitante de 26 líneas). El tiempo estimado para estas transacciones es triangular (2, 3, 4) minutos. El 15% de los que llaman desean hablar con una persona después de recibir el estado de su orden y se les ofrece esta posibilidad. Estas llamadas se enrutan de vuelta al personal de ventas, donde esperan con la misma prioridad que las demás llamadas. La duración de estas llamadas de seguimiento se estima triangular (3, 5, 10) minutos. Al finalizar, los clientes salen del sistema.

Las horas de trabajo del sistema son de 8 a.m. a 6 p.m. Una pequeña proporción del personal queda hasta las 7 p.m. A pesar de que no se permite que entren más llamadas después de las 6 p.m., todas las llamadas que entran al sistema antes de esa hora son respondidas.

La tasa de llegada de llamadas a lo largo del día varía mucho y se expresa en llamadas por hora para cada intervalo de 30 minutos en el que el sistema está abierto. Se muestra en la tabla a continuación:

Hora	Tasa	Hora	Tasa	Hora	Tasa	Hora	Tasa
8:00 – 8:30	20	10:30-11:00	75	1:00-1:30	110	3:30-4:00	90
8:30 - 9:00	35	11:00-11:30	75	1:30-2:00	95	4:00-4:30	70
9:00-9:30	45	11:30-12:00	90	2:00-2:30	105	4:30-5:00	65
9:30-10:00	50	12:00-12:30	95	2:30-3:00	90	5:00-5:30	45
10:00-10:30	70	12:30-1:00	105	3:00-3:30	85	5:30-6:00	30

Tabla 6: Tasa de llegada de llamadas (problema 27)

Todos los empleados trabajan 8 horas con 30 minutos para comer. Hay siete vendedores con horarios escalonados (numero de personas@período de tiempo): 3@90, 7@90, 6@90, 7@60, 6@120, 7@120, 4@90.

Hay 11 personas en soporte técnico cuyos horarios de trabajo se muestran en la tabla:

		Período de tiempo (30 minutos)																					
	Líneas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ana	1	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*					
María	1						*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Carmen	1,3			*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
Elena	1,2,3					*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Carlos	1,2,3				*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Juan	2	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*					
José	2						*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cristian	2				*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
Víctor	3	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*					
Sara	3						*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Simón	3				*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		

Tabla 7: Horario de trabajo (problema 27)

Ana y María están calificadas para atender llamadas para el tipo de producto 1; Juan, José y Cristian están calificados para atender llamadas para el tipo de producto 2; Víctor, Sara y Simón están calificados para tender llamadas para el tipo de producto 3. Carmen está calificada para tender llamadas para los tipos de producto 1 y 3; Elena y Carlos están calificados para tender todos los tipos de productos.

Se debe llevar un registro de los clientes que no logran una conexión telefónica. Sin embargo, no se llevará un registro de los clientes que cuelgan antes de ser atendidos, aún cuando hayan conseguido línea.

Algunos resultados de interés para este tipo de sistemas son: número de clientes que no son atendidos (por línea ocupada), tiempo total en línea para cada tipo de cliente, tiempo de espera por ser atendido por una persona por tipo de cliente, tiempo de contacto por tipo de cliente, número de llamadas esperando por servicio por tipo de cliente, utilización del personal.

28. A un proceso de corte de papel llegan lotes para cortar con un tiempo entre llegadas EXPO(10), tiempo en minutos. Hay dos cortadoras: primaria y secundaria. Todas las llegadas se envían a la cortadora primaria. EL tiempo de traslado es de 3 minutos. Si la cola de espera en la cortadora primaria es menor que 5 lotes, el lote entrante se ubica en esa cola para ser procesado por la cortadora primaria. La duración de esa operación es TRIA(9,12, 15). Si ya hay 5 lotes en espera en la cola, el lote entrante va directamente a la cortadora secundaria. La cola de esta cortadora tiene capacidad infinita. La duración de la operación en la cortadora secundaria es TRIA(17, 19, 21). Después de que la cortadora primaria ha cortado 25 lotes, se debe sacar de operación para limpieza, la cual dura EXPO(30). Durante este tiempo, los lotes en la cola de la cortadora primaria permanecen en ella, hasta que esté disponible. Diseñe la animación y corra la simulación por 5000 minutos. Obtenga resultados del tiempo del ciclo para cada cortadora, utilización de los recursos, tamaño de las colas y tiempo en las colas.

29. A una zona de descarga con tres andenes llegan camiones con tiempo entre llegadas EXPO(9) (tiempo en minutos). Los tiempos de descarga para cada andén son: TRIA(26, 28, 30), TRIA(24, 26, 28) y TRIA(23, 25, 27) para los andenes 1, 2, y 3 respectivamente. SI hay un andén libre, un camión entrante irá a ese andén. Suponga que el tiempo de traslado hasta el andén es cero para todos los andenes. Si hay más de un andén libre, el chofer tendrá preferencia por el andén con el número más alto (3, 2, 1). Si todos los andenes están ocupados, seleccionará el andén con el menor número de camiones en espera.

Si hay un empate se ubicará en el andén con la numeración más baja (1, 2, 3). Desarrolle un modelo de simulación y córralo por 2000 minutos. Obtenga resultados sobre la utilización de los andenes, tamaño de las colas, tiempo en las colas y tiempo en el sistema.

30. Un pequeño almacén provee espacio para almacenar trabajo en proceso de una fábrica que produce cuatro tipos de piezas. Los porcentajes de cada pieza y los costos por pieza son:

Tipo de pieza	Porcentaje	Costo de inventario por pieza
1	20	5500
2	30	6500
3	30	8000
4	20	10500

Tabla 8: porcentajes y costos (problema 30)

La interpretación del costo de inventario por pieza es como sigue: cada pieza en inventario contribuye el monto por unidad almacenada indicado en la última columna de la tabla. Por ejemplo: si el inventario actual fuera tres unidades de la pieza 1, ninguna de la pieza 2, cinco de la pieza 3 y una de la pieza 4, entonces el costo total del inventario actual sería 3x5500 + 0x6500 + 5x8000 + 1x10500 = 67000. A medida que llegan y salen piezas, este costo total variará.

Las piezas llegan con una distribución de tiempo entre llegadas en minutos TRIA(1,5; 2,0; 2,8). Dos grúas almacenan y traen las piezas con un tiempo de traslado, indicado en el anexo 2, en cualquiera de los dos sentidos. Si no hay piezas para satisfacer un pedido no se cumple el requerimiento. Todos los requerimientos de piezas tienen prioridad y se atienden antes que los almacenamientos de piezas entrantes. En el despacho de piezas tiene prioridad las piezas de mayor costo.

Al llegar una pieza para almacenar, aumente el costo del inventario y el total de las piezas en inventario. Para los requerimientos de piezas, disminuya el total de piezas en inventario tan pronto identifique que hay una pieza para proveer el pedido y disminuya el costo después de que la pieza es entregada.

Corra el modelo por 24 horas, comenzando con cuatro piezas de cada tipo en el inventario. Obtenga resultados para: utilización de las grúas, costo del inventario, cantidad de cada pieza en el almacén y el número de requerimientos insatisfechos por no tener piezas del tipo solicitado.

31. La Supertienda

Usted ha sido contratado como consultor por "Supermercados Supremo". Su gerente es Trina Modelo. Aunque Trina ha estado en el negocio de la venta de alimentos por muchos años en una cadena de abastos pequeños, recientemente ha abierto un nuevo tipo de tienda que llamó "La Supertienda". La idea es proveer a una tienda grande con diversos tipos y marcas de productos y un servicio rápido y amistoso. Esta primera tienda se está utilizando como prueba de la distribución en planta y de los procedimientos operacionales para una gran cadena de "Supertiendas" que Trina espera construir.

La primera tienda ha estado abierta por seis meses y Trina todavía tiene un problema con los empleados en las cajas durante las horas pico. Estas horas son entre 2 p.m. y 10 p.m. Ha recibido muchas quejas de los clientes en relación a las largas colas en las cajas registradoras. Se tienen 20 cajas disponibles, pero no se ha desarrollado un plan de trabajo adecuado que elimine las largas colas. Su empresa de consultoría ha recibido una solicitud para desarrollar un plan de trabajo para los cajeros/as que cumpla con los requerimientos de Trina.

Antes de solicitar sus servicios, Trina contrató a un grupo de estudiantes de Ingeniería Industrial, de una universidad conocida, para obtener y analizar los datos. Algunos de esos datos están resumidos en este documento. Desafortunadamente, Trina está en este momento de vacaciones y no se la puede contactar. Adicionalmente, ha dado indicaciones a su personal de que los consultores deben trabajar con los datos disponibles y no recibirán datos adicionales. Por eso, usted no contará con más datos. Al regresar de vacaciones, espera tener su reporte sobre el escritorio.

Se condujo una encuesta informal para determinar los tiempos de espera que los clientes pueden soportar (este es el tiempo que los clientes esperan en cola

antes de llegar a la caja). La mayoría de los clientes preferirían, cuando mucho una espera de 2 ó 3 minutos, pero estarían dispuestos a esperar 10 a 12 minutos cuando la tienda está muy ocupada. Los clientes indicaron que si tuvieran que esperar entre 15 a 20 minutos, podrían ir a otra tienda la próxima vez. Adicionalmente, si el número de clientes llega a 4 ó 5 por caja, la congestión comienza a interrumpir a otros clientes.

A pesar de que la tasa de llegada de clientes tiene una gran variabilidad, los estudiantes de Ingeniería Industrial han calculado las tasas promedio de llegada a las colas de las cajas (medidas en clientes por hora). Para cada media hora laborable, la tabla 9 muestra las tasas de llegada.

Tiempo	Tasa	Tiempo	Tasa
2:00 – 2:30	95	6:00 – 6:30	105
2:30 – 3:00	100	6:30 – 7:00	95
3:00 – 3:30	120	7:00 – 7:30	125
3:30 – 4:00	150	7:30 – 8:00	150
4:00 – 4:30	160	8:00 – 8:30	155
4:30 – 5:00	150	8:30 – 9:00	95
5:00 – 5:30	160	9:00 – 9:30	70
5:30 – 6:00	110	9:30 – 10:00	60

Tabla 9: tasa de llegada de clientes

Durante la fase de recolección de datos, se asumió que todos los días eran similares, de manera que se recolectaron datos de Lunes a Jueves. Sin embargo, ahora se conoce que la demanda los Viernes aumenta un 15% y la demanda durante el fin de semana es muy distinta. Por lo tanto, solamente es de interés la cantidad de empleados durante los días de semana.

El tiempo de compra tiene una gran variabilidad. Los clientes que compran menos de 10 artículos tienen un promedio de 42 segundos por artículo, aunque se lleva un mínimo de 3 minutos el sólo recorrer la tienda. Los clientes que compran más de diez artículos promedian 34 segundos por artículo.

El número de artículos por cliente varía, pero parece ser un promedio constante en el tiempo. Una muestra grande de artículos por cliente se obtuvo de los recibos de las cajas registradoras y se muestra en el anexo. El tiempo promedio para pasar por la caja es 3 segundos por artículo, pero puede variar hasta en un 25%. El 1,3% de las veces es necesario verificar el precio de un artículo o un artículo dañado se deberá remplazar. Aunque la tienda utiliza lectoras de código de barras, los clientes, a veces, solicitan que se verifique el precio en el estante donde está el artículo. El tiempo para esta actividad es muy variable, pero promedia 2,2 minutos.

La forma de pago depende del número de artículos que compre el cliente. Para compras de 20 o menos artículos, el 45% de los clientes paga en efectivo, 30% pagan con cheque y 25% pagan con una tarjeta de crédito. Para compras de más de 20 artículos, los valores son, respectivamente, 20%, 45% y 35%. Todos los tiempos de las transacciones de pago parecen seguir una distribución normal, pero varían por tipo de pago. Los pagos en efectivo promedian 0,95 minutos con una desviación estándar de 0,17. Los pagos con cheque se dividen en dos: para los que tienen tarjeta bancaria el promedio es 1,45 minutos, con una desviación estándar de 0,35. Los que no tienen tarjeta bancaria (27% del tiempo), el supervisor debe aprobar el cheque: esto requiere 0,95 minuto adicional, con una desviación estándar de 0,15. Los pagos con tarjeta de crédito promedian 1,24 minutos, con una desviación estándar de 0,21.

Los tiempos de empaquetar la compra promedian 1,25 segundos por artículo, pero puede variar hasta un 20%. Los clientes tienen una preferencia por bolsas plásticas en lugar de papel. Si no hay un empaquetador disponible, la cajera empaquetará la compra después de recibir el pago. El 30% de las veces el cliente ayuda a empaquetar. Este tiempo parece no depender de quien está empaquetando. Los empaquetadores pueden estar asignados a una sola caja, a varias cajas o se pueden mover a discreción de una caja a otra, según se requiera.

Los empleados de caja y de empaquetado son, en su mayor parte, empleados temporales. Las cajeras reciben un pago de Bs. 4000 por hora y los empaquetadores Bs. 2500 por hora. Existen algunas reglas que se deben seguir con los empleados a medio tiempo: todo empleado a medio tiempo debe trabajar por lo menos 3 horas y máximo 5 horas. En general, no se les pide a los cajeros que trabajen como empaquetadores y los empaquetadores no trabajan como cajeros.

Evidentemente, se puede mantener a todos los clientes felices casi todo el tiempo con empleados en todas las cajas todo el tiempo. Sin embargo, el costo de esta alternativa es muy alto. El horario ideal para los empleados será el que tenga mínimo tiempo de espera a un costo mínimo. A pesar de que Trina espera un solo horario, hizo evidente en la última reunión que espera que la demanda varíe en el tiempo. De manera que está interesada en cómo y cuando ajustar el horario a medida que cambia la demanda.

Trina está esperando su recomendación.

Proyecto de simulación: Terminal de pasajeros

Informe

Fecha: 31 de Julio, 2003
Elaborado por: César Pérez

Contenido

1. Descripción del sistema 46

2. Objetivo de la simulación 48

3. Metodología utilizada 48

4. Construcción del modelo 48

5. Verificación y validación 49

6. Resultados 49

7. Experimentación y análisis de resultados 50

8. Conclusiones 51

1. Descripción del sistema

El sistema a modelar consiste en un terminal de pasajeros de un aeropuerto. Los viajeros llegan a la entrada, se dirigen al mostrador de atención, donde uno de cinco agentes disponibles los atiende por orden de llegada, uno a uno. Una vez terminado el trámite de registro para su viaje, se dirigen a su puerta de embarque.

Estados del sistema:

- Recursos: Cada una de las personas de atención al viajero puede estar:

  OCUPADO atendiendo a los viajeros

  DESOCUPADO cuando no hay viajeros en la cola y se han atendido a todos los viajeros que han llegado.

- Cola: $L_{COLA}(t)$: es la longitud de la cola de viajeros esperando a ser atendidos.

  Existe una sola cola en la que esperan los clientes para ser atendidos. Su capacidad es ilimitada. Hay espacio suficiente para ubicar a todos los pasajeros que entran en la cola. Los pasajeros esperan en la cola a ser atendidos. No se salen una vez en ella, ni esperan a que disminuya su tamaño para entrar. El servicio es "primero que llega, primero que sale".

Entidades: pasajeros en un terminal que volaran por una línea aérea determinada

Eventos:

- Llegada de un viajero
- Atención en los mostradores
- Terminación de la atención y salida del sistema

Recursos: 5 personas de atención al viajero, en tierra, de la línea aérea

Colas: se forma una única cola cuando llegan pasajeros y las cinco personas están ocupadas atendiendo a los pasajeros que los anteceden.

Actividades:

- **Llegada de pasajeros**

Los pasajeros llegan uno a uno siguiendo una distribución exponencial negativa con media de 1,6 minutos

- ***Atención y transferencia de pasajeros***

La tabla No.1 muestra las reglas de llegada, atención y traslado de los pasajeros.

Actividad	Duración (en minutos)
Llegada de viajeros	EXPO(1,6)
Traslado de la llegada al mostrador de atención	UNIF(2,3)
Atención al pasajero	NORMAL(media=7, sigma=2)
Traslado a la salida	cero

2. Objetivo de la simulación

Conocer el tiempo promedio en el sistema, longitud promedio de la cola y número de pasajeros que completan el registro de viaje en 16 horas.

3. Metodología de resolución

Se utilizará el paquete ARENA, versión 3 para representar el sistema. Se utilizaran los siguientes módulos lógicos para la construcción del modelo:

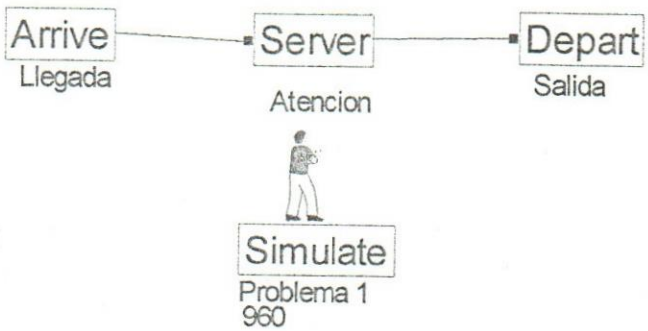
ARRIVE: para representa la llegada de pasajeros
SERVER: para representar el proceso de atención de viajeros
DEPART: para representar la salida de pasajeros del sistema

Se utilizaran los siguientes módulos de datos:

SIMULATE: para limitar la corrida a una replicación de 960 minutos de duración (16 horas)

ANIMATE para visualizar gráficamente el tamaño de la cola y el número de viajeros atendidos

4. Construcción del modelo



5. Verificación y validación

La verificación se hará utilizando la distribución de frecuencia de los datos generados en la corrida del modelo para asegurar que siguen los tipos de distribución indicados

No se hará una validación del modelo por consistir en un problema hipotético.

6. Resultados de la simulación

Resumen para la replicación 1 de 1

Proyecto: Problema 1 Fecha de ejecución: 31/7/2001
Analista: César Pérez Fecha de revisión del modelo: 31/7/2001

La replicación terminó en el tiempo : 960.0

VARIABLES CALCULADAS

Nombre	Promedio	Mitad ancho	Mínimo	Máximo	Numero de Observaciones
Tiempo en el sistema	11.66	(Corr) (**)	4.30	28.0	560
Tiempo en la cola de Atención	2.12	(Corr) (**)	.00	16.0	564

VARIABLES DE CAMBIO DISCRETO

Nombre	Promedio	Mitad ancho	Mínimo	Máximo	Valor final
Atención_R Ocupado	4,11	0,23908	0,000	5,00	4,00
Atención_R Disponible	5,00	(Insuf)(*)	5,00	5,00	5,00
# in la cola de Atención	1,24	(Corr) (**)	0,00	11,00	0,00

CONTADORES

Nombre	Contador	Limite
Salida	560	Infinito

(*) Insuficientes datos como para establecer el intervalo de confianza para un nivel de confianza del 95%

(**) No se pudo establecer el intervalo de confianza para u nivel de confianza del 95% porque los datos están correlacionados

7. Experimentación y análisis de resultados

Los objetivos del proyecto se alcanzan con una corrida única. Los resultados muestran:

Tiempo en el sistema

Los viajeros pasan un promedio de 11,66 minutos en el sistema. Los valores extremos están entre un mínimo de 4,30 minutos y un máximo de 28,0 minutos

Tiempo en la cola de atención

Los viajeros pasan un promedio de 2,12 minutos en la cola de atención. Los valores extremos están entre un mínimo de 0 minutos y un máximo de 16 minutos.

Longitud de la cola de atención

El valor promedio es 1,24 personas con un mínimo de cero y un máximo de once personas.

Utilización de los agentes de atención

La utilización es del 82,2% (Tiempo ocupado/Tiempo disponible) (4,11/5)

Numero de personas atendidas: 560; Numero de personas que pasaron por la cola de atención: 564 Numero de personas que están en atención al finalizar la simulación: 4

8. Conclusiones

1. El tiempo promedio en el sistema es 11,66 minutos
2. La longitud promedio de la cola es 1,24 personas
3. El número de pasajeros que completan el registro de viaje es: 560

Objetivo:

Esta especificación funcional permitirá al lector identificar los elementos necesarios para describir lo que se requiere en un proyecto de simulación con el propósito de evitar ambigüedades y aclarar en detalle los componentes, los términos de referencia y el alcance del trabajo y obtener un soporte de gestión que lleve a una toma de decisiones acertada que eleve la calidad de productos y servicios.

Una especificación funcional para el Washington Post

1. INTRODUCCIÓN

Este apéndice contiene la especificación funcional de un proyecto, tal como la suministró el Washington Post para un proyecto de consultoría en simulación. Este proyecto se encomendó a Gary Lucke, gerente de "Manufacturing Systems Engineering" y a Olivier Girod, gerente de Ingeniería Industrial del Washington Post. EL contenido original se ha modificado ligeramente para proteger información confidencial.

1.1 Organización Documental

Este documento se suministra para describir las operaciones de la sala de correo del Washington Post en Springfield, VA y la futura instalación en Maryland. La descripción incluirá el detalle necesario para desarrollar adecuadamente un modelo de simulación en Arena para ambas instalaciones.

Este documento está dividido en seis secciones. La primera define: los objetivos del proyecto de simulación, el propósito de este documento, el uso del modelo Arena, y el "software" y equipos requeridos para correr el modelo en Arena. La segunda sección describe los componentes físicos de la operación de la sala de correo y los enfoques de simulación para cada componente. La tercera sección describe la animación del modelo de simulación. La cuarta sección resume los requerimientos de datos para el modelo de Arena y la información deseada generada del modelo de Arena. La quinta sección describe lo que se espera recibir del proyecto. Finalmente en la sexta sección están las firmas del acuerdo requeridas para iniciar el proyecto.

1.2 Objetivos de la simulación

El objetivo de este estudio es suministrar, al Washington Post, una herramienta de soporte a las decisiones que ayude a evaluar la operación de carga de camiones en la planta de Springfield y en la propuesta instalación de Maryland. La simulación ayudará a conocer el impacto en las operaciones de carga que tienen: la cantidad producida en la prensa, la utilización de bandejas y los patrones de llegada de camiones.

Para poder alcanzar estos objetivos se desarrollarán dos modelos de simulación bajo este contrato. Estos modelos incorporarán las secuencias reales de la operación y la lógica de decisiones requerida para representar con precisión las operaciones. Adicionalmente, la simulación incorporará la información y resultados generados por la "simulación de las operaciones de entrega de rollos mediante vehículos guiados automáticamente" que está en progreso en estos momentos. En ella participan la empresa consultora SM, el proveedor de los equipos de manejo de materiales y el periódico.

El desarrollo de este proyecto requiere que se cumplan varias actividades. La comprensión de las instalaciones del periódico en Springfield y Maryland es imprescindible parra conceptualizar y desarrollar una representación sin errores del sistema. Este proceso ha sido, y continuará siendo, un esfuerzo conjunto entre SM y el Washington Post. Este procedimiento define la conceptualización del usuario del sistema que SM utilizará para desarrollar el modelo de simulación. En el proceso está incluido la definición de las entradas y salidas del modelo, verificación de que el modelo de Arena se haya implantado con precisión y la validación de que el modelo representa la instalación con precisión.

Al terminar el proyecto, el periódico tendrá una herramienta que permitirá, por medio de un analista, especificar diversos escenarios operativos para la

instalación de la sala de correo, efectuar experimentos con los escenarios de simulación y analizar estadísticamente los escenarios.

1.3 Propósito de la especificación funcional

Esta especificación funcional tiene cuatro propósitos: primero, el documento describe la operación de la sala de correo del periódico en las instalaciones de Springfield y Maryland, en el nivel de detalle requerido para modelar. Esta descripción incluye el flujo de proceso, funcionamiento de los equipos, procedimientos y reglas de operación, interacciones del sistema, y logística. Estos sistemas se deben comprender con detenimiento antes de que se representen en una simulación por computadora.

Segundo: se definen los datos requeridos para efectuar el análisis de la simulación. Estos datos incluyen: el comportamiento de las prensas, asignación de andenes, tiempos de carga y descarga, y otras características operacionales.

Tercero: se define la información que debe generar la simulación. La información se muestra en la forma de medidas de desempeño del sistema de las cuales se efectúa el análisis de la simulación. Esta información contendrá: utilización de los andenes, tiempos para la carga de camiones, utilización de bandejas, etc.

Finalmente: se describen las entregas del proyecto. Las entregas estarán en una carpeta de tres argollas e incluirá un Disco Compacto (CD) de computadora con el modelo de Arena, archivos de entrada de datos (impresos en papel y en el CD), un manual de usuario con la descripción de cómo utilizar el "software" y el informe final.

Este documento define explícitamente los puntos que son parte de la propuesta y otros documentos no oficiales intercambiados entre SM y el Washington Post. Por

lo tanto, para aquellos puntos que se tratan en documentos anteriores, este documento anula toda correspondencia anterior que defina el proyecto.

1.4 Uso del modelo

El uso del modelo de simulación se detallará completamente en el manual del usuario que se suministrará a la terminación del proyecto. El uso del modelo comprende la inicialización del modelo en Arena y los archivos de entrada con los parámetros deseados, correr el modelo en la computadora, generación de los resultados de manera estadística e informes. Los resultados de sumario generados en varias corridas se pueden comparar para evaluar el impacto de parámetros específicos en el desempeño del sistema.

1.5 Requerimientos de "software" y "hardware"

SM desarrollará el modelo de simulación en Arena bajo el sistema operativo Windows de Microsoft. El "software" y "hardware" requeridos para correr el modelo son:

Edición estándar de Arena (versión 3.0 o mayor)
Computadora compatible IBM
Windows 95, 98, NT, XP
32 MB RAM (64MB recomendado)
30 MB de espacio en disco duro

El "software" mencionado no está incluido en el proyecto. Se debe adquirir bajo un contrato separado.

2. Descripción del sistema y enfoque para el modelaje

Las secciones siguientes definen el flujo de periódicos desde las prensas, a través de la sala de correo, hasta los andenes de carga. Los diferentes componentes del sistema se describen para las instalaciones de Springfield y Maryland, puesto que las dos plantas tienen diferente distribución y modos de operación. Las diferencias en los modos de operación se describirán en el nivel de detalle que se requiera para el esfuerzo de modelaje. En términos generales, la lógica es similar para ambas instalaciones.

El modelo incluirá la producción de encabezados, movimiento del encabezado mediante el sistema de bandejas hasta los andenes y el palatizado y carga de los bultos en los camiones. También incluirá la carga de camiones en los andenes con producto impreso con anticipación.

2.1 El tiempo en el modelo

El modelo debe ser capaz de simular las actividades en la sala de correo durante un día hasta una semana completa.

2.2 Prensas

Las prensas serán el punto de partida del modelo de simulación. El producto generado en una prensa se envía a un apilador, donde se forman bultos y se envían al sistema de bandejas. Ni las prensas, ni los apiladores se modelarán en detalle en este proyecto. El producto de la prensa se fabrica en cada una de cuatro prensas idénticas a una tasa constante durante las operaciones normales. Si suponemos un tamaño de bulto constante, definido por el usuario en el apilador, los bultos se modelarán con una entrada al sistema a una tasa constante para cada prensa. Las tasa de producción para cada prensa se definirá para cada hora durante un horizonte de tiempo de una semana. La mayor parte del tiempo, las corridas de producción de las prensas comienzan entre las 12:15 a.m. y las 12:30 a.m. y terminan entre las 4:30 a.m. y las 4:40 a.m.

Al concluir el proyecto de simulación "Entrega de rollos con VGA" se añadirán los elementos de lógica para que la simulación con VGA genere un horario de trabajo en la prensa que optimice todos los tiempos de funcionamiento y de inactividad de cada prensa. Estos horarios de prensas se utilizarán como archivos de entrada para la simulación de la sala de correo. La simulación de la sala de correo se diseñará de manera que el analista pueda seleccionar 1) horarios de la prensa de "último minuto" generados de la simulación del VGA, o 2) parámetros para la prensa definidos por el usuario. Ambas opciones se describen a continuación.

2.2.1 Horario de funcionamiento de las prensas obtenido por la simulación del VGA (Vehículo guiado automáticamente)

Las corridas de prensa de "último minuto" generadas por el modelo de simulación de VGA se importarán al modelo de la sala de correo como archivos ASCII. Para cada prensa, estos archivos consistirán en una secuencia de tiempos de funcionamiento, tiempos detenidas y velocidades. Un ejemplo de los resultados generados por la simulación VGA, para una corrida de "último minuto", se muestra en la tabla 10.

Secuencia Prensa 1	Activa/ Inactiva	Tiempo (minutos)	Velocidad de la prensa (unidades/hr)	Subida de velocidad (ejemplares)	Velocidad de la subida (Ejemplares/hora)
1	Activa	30	70000	5000	56000
2	Inactiva	5	0	0	0
3	Activa	45	70000	5000	56000
4	Inactiva	10	0	0	0

Tabla 10: Resultados de una corrida de "último minuto" generados por la simulación de VGA (prensa 1)

2.2.2 Horario de la prensa definido por el usuario

Los parámetros de la prensa definidos por el usuario se leerán en el modelo de simulación de archivo ASCII, que contendrá, para cada prensa: 1) Tamaño total de la orden de trabajo, 2) Velocidades de la prensa, 3) Cantidad de la subida y 4)

Velocidad de la subida. Un ejemplo de los parámetros de la prensa definidos por el usuario se muestra en la tabla 11.

Además del tiempo inactivo para el reacabado de las planchas, cada prensa también tiene fallas aleatorias. Estas fallas tienen su origen en: 1) Defectos en los rollos de papel, o 2) roturas en el material que se está imprimiendo. Para cada tipo de falla, la frecuencia de ocurrencia se basará en el conteo de producción, y el tiempo para su reparación se expresará en minutos.

Número de la prensa	Orden de trabajo (ejemplares)	Velocidad de la prensa (ej./hora)	Subida de velocidad (ejemplares)	Velocidad de subida (ej./hora)
1	120000	70000	5000	56000
2	120000	65000	3000	49000
3	120000	55000	5000	49000
4	120000	70000	5000	56000

Tabla 11: Horario de la prensa definido por el usuario

2.2.3 Reacabado de las planchas

El reacabado de las planchas se efectúa según un programa definido por el usuario. El tiempo requerido para el reemplazo se modelará utilizando una distribución de tiempo. En la tabla 3 se muestra un ejemplo del programa de reemplazo. En el ejemplo, se supone que las prensas se encienden entre las 12:15 a.m. y las 12:30 a.m. y se apagan entre las 4:30 a.m. y las 4:40 a.m. Para el propósito de la simulación, se supondrá que hay hasta 10 reemplazos por corrida.

Número del reemplazo	Horario en el que ocurre	Duración (minutos)
1	1:15 a 1:30	7 a 10
2	2:15 a 2:30	10 a 15
3	2:45 a 3:00	7 a 10
4	Así sucesivamente	Así sucesivamente

Tabla 12: Tiempo de parada de las prensas por reemplazo de planchas

La mayor parte del tiempo los reemplazos se efectúan según la siguiente secuencia: se detienen las prensas 1 y 2; la prensa 1 se pone a funcionar, la prensa 3 se detiene, la prensa 2 se pone a funcionar, la prensa 4 se detiene, la prensa 3 se pone a funcionar, la prensa 4 se pone a funcionar.

2.3 Tipos de productos

Las prensas producen dos tipos de productos: avance y encabezado. El producto "avance" es la parte del periódico que no depende del tiempo y por lo tanto se puede producir más temprano en el día. El encabezado consiste en las primeras secciones del periódico que contienen noticias que dependen del tiempo. Para propósitos de la simulación, se supondrá que todo el producto de avance, requerido para un día, está disponible cuando se requiere para la carga de los camiones de distribución, Solamente se modelará explícitamente la producción de "encabezado".

2.4 Líneas de empacado

Cada prensa alimenta tres líneas de empacado y cada línea de empacado está conectada con el sistema de bandejas. La salida de las prensas se puede regular a través de cada una de las tres líneas de empacado. Estas líneas reciben "encabezado" y producen bultos. Una línea de empacado tiene tres modos de operación: 1) Modo de respaldo, 2) Modo normal, y 3) Modo de inserción manual. En el modo de respaldo, la línea de empacado está inactiva y no produce ningún bulto. En el modo normal, el usuario define el porcentaje de la capacidad de la prensa que se le suministra a la línea y se transforma en bultos. El tamaño del bulto lo definirá el usuario. En el modo de inserción manual, la línea funciona en su modo normal, excepto que los bultos se retrabajan manualmente para satisfacer requerimientos adicionales sobre el producto. Estos requerimientos incluyen unir producto ya fabricado con el "encabezado". El proceso de inserción manual se describirá en detalle en la sección 2.7

2.5 Sistema de bandejas

Los bultos entran al sistema de bandejas desde las líneas de empacado de cada prensa. No tienen un destino predeterminado. Existe un punto de determinación en el sistema de bandejas; en él se le da un destino a los bultos (el cual puede ser un andén o una paletizadora). Los criterios para asignar un destino son: la velocidad de la bandeja y los camiones en espera por la llegada de producto.

2.5.1 Sistema de bandejas de Springfield, VA

El sistema de bandejas de Springfield consiste en dos sistemas idénticos de transportadores que movilizan los bultos desde las prensas y apiladores hasta los andenes de carga y las paletizadoras. Los dos transportadores se diferencian e identifican por su color: verde o amarillo. Los productos de cada prensa se envían a una de las dos correas: la salida de las prensas 1 y 3 se envía al transportador verde y la salida de las prensas 2 y 4 se envía al transportador amarillo. El transportador verde tiene exactamente 263 bandejas, y el amarillo tiene exactamente 266. Ambos transportadores se mueven a una velocidad de 150 bandejas por minuto y pueden entregar los bultos a cualquier andén y a cualquier paletizadora. La velocidad de cambio de los transportadores establece con qué frecuencia se puede cambiar el destino al que se envía el producto. En el punto de determinación del sistema de bandejas, el bulto quedará preasignado al camión con la mayor prioridad en los andenes. Si no se excede la velocidad de cambio de los transportadores, el bulto se enviará a ese andén. Si se excede la velocidad de cambio, el bulto se intentará preasignar a camiones con prioridades sucesivamente menores que la máxima hasta que se encuentre un andén al cual asignarlo. Si un bulto no puede ser preasignado, se recircula en el transportador. La velocidad (de las bandejas) del transportador y su velocidad de cambio las define el usuario.

2.5.2. Sistema de bandejas de Maryland

El sistema de bandejas en la instalación de Maryland funcionará de una forma similar a la descrita. Sin embargo, puesto que el edificio de Maryland tiene un solo piso, sólo habrá un transportador en el sistema de bandejas. Adicionalmente, cada una de las líneas de empacado se conecta directamente a cualquiera de los cuatro andenes existentes. Esto permite que los bultos se puedan enviar a los andenes sin pasar por el sistema de bandejas. Una línea de empacado desviará un bulto al sistema de bandejas cuando no haya un camión disponible para cargar. La distribución en planta del transportador y el número exacto de bandejas en el transportador los debe definir la gerencia del diario antes de construir el modelo. El usuario podrá definir la velocidad del transportador y la velocidad de cambio.

2.6 Llegada de los camiones

En el modelo, la llegada de los camiones se controlan mediante un archivo de llegadas controlado por el usuario (ver tabla 13). Cada camión tiene un número de identificación único, una ventana de tiempo, y un tipo de camión. La ventana de tiempo establece el segmento de tiempo en el que debe llegar el camión. La cantidad a cargar es el número de unidades de periódico que se colocarán en el camión. El tipo de camión es el tipo de servicio para ese camión. Los tipos de camión pueden ser: autopista, entrega a domicilio o kiosco.

Número	Ventana	Identificación del camión	Cantidad a cargar	Tipo de camión
1	1	0234	12294	2
2	1	0108	3042	3
.....	.....	.....	.....	.....
n	8	5021	834	1

Tabla 13: Horario de llegada de camiones

Los camiones llegan al modelo en la ventana (n-1) para comenzar a cargar el producto de avance en un andén de avance. Cuando el producto de avance esté completamente cargado, el camión se puede dirigir a un andén de despacho

donde recibe el encabezado necesario para completar la carga. Los camiones se atienden con base en su tiempo de llegada al andén

2.6.1 Entrega a domicilio

Los camiones de entrega a domicilio (ED) reciben su producto de avance en uno de los andenes a dedicación reservados para ellos. Las paletas de producto de avance se desensamblan y el producto se transporta a los camiones en bultos mediante un transportador dedicado a ello. La tasa de carga, en bultos por minuto y los tiempos de preparación del andén, en minutos, están definidos por el usuario. Después de recibir todo el producto de avance, el camión ED continúa en un andén de despacho normal donde se le carga la misma cantidad de producto de encabezado que la que se cargó de producto de avance. Los bultos de encabezado llegan a través del sistema de bandejas. La tasa de carga en bultos por minuto y el tiempo de preparación del andén los define el usuario. Un porcentaje de camiones ED, definido por el usuario, se clasifican como "lentos" y tienen un tiempo de carga y de preparación mayor que el resto.

2.6.2 Autopista

Los camiones de autopista (AUT) reciben servicio en andenes de autopista dedicados exclusivamente a ellos. Varios levantacargas efectúan el proceso de carga de paletas enteras de producto de avance. La tasa de carga en paletas por minutos y el tiempo de empacado (para la última paleta) las define el usuario. EL producto de encabezado que se destine a un camión AUT se envía al paletizador dedicado a ese camión AUT. Las paletas se forman y después se cargan en el camión mediante levantacargas. La tasa de carga y el tiempo de empacado de la última paleta son los mismos que para las paletas de avance. Un camión AUT permanece en el andén hasta que todo el producto de avance y de encabezado se haya cargado.

2.6.3 Ventas en Kioscos/Calle

Los camiones para ventas en kioscos y en la calle (K/C) no reciben producto de avance. En su lugar, al llegar al andén de despacho, se reciben bultos del proceso de inserción manual. Estos bultos viajan a través del sistema de bandejas hasta el camión K/C. Los tiempos de carga y tiempos de empacado de la última paleta son los mismos que para los camiones ED.

2.7 Andenes

En el modelo existen tres tipos de andenes: 1) paletas, 2) bultos de avance, 3) bultos de encabezado. Los andenes de paletas se diseñaron para el acceso de levantacargas y para dar servicio a los camiones AUT. Los andenes de bultos de avance se utilizan para cargar el producto de avance en los camiones durante su ventana de tiempo (n-1). Los andenes de bultos de encabezado se utilizan para cargar el producto de encabezado que se entrega a los camiones por el sistema de bandejas. Un camión recibe los productos de prensa basado en su tiempo de llegada (PEPS) en un andén determinado y no en el tipo de andén. Para cada tipo de andén, el número de andenes activos estará definido por el usuario.

2.7.1 Andenes de Sprinfield, VA

La instalación de Springfield tiene exactamente, 12 andenes dedicados para paletas, exactamente 10 andenes de bultos de avance y exactamente 14 andenes para bultos de encabezado.

2.7.2 Andenes de Maryland

La instalación propuesta en Maryland tiene exactamente 10 andenes que se pueden utilizar indistintamente para paletas o bultos de avance y 18 andenes para uso exclusivo de encabezado.

2.8 Paletizadoras

Para propósito de la simulación, todas las paletizadoras es asumirán que son idénticas. Una paletizadora se utiliza para empacar los bultos de encabezado con destino a un camión AUT en un andén de paletas. Cada camión AUT, cuando está ubicado en un andén, tiene una paletizadora exclusiva. Para propósitos del modelo, una paletizadora es un destino posible para los bultos del sistema de bandejas. Las colocación de producto de avance en paletas no se modelará en este proyecto. Las paletizadoras trabajan a una tasa constante y forman paletas de tamaño constante. La última paleta será llenada parcialmente con el producto suficiente para completar la carga. La tasa de la paletizadora y el tamaño de la paleta las definirá el usuario. Las paletizadoras tienen tiempo inactivo a intervalos aleatorios. Estos tiempos se pueden modelar de dos maneras: 1) como uno sólo combinando todos los modos de falla o 2) representando cada modo de falla por separado.

Si un bulto llega al paletizado y encuentra que el equipo está ocupado o en falla, se acumulará en una cola. La capacidad de estas colas las definirá el usuario. Si una cola de palatizado alcanza el límite definido por el usuario, los bultos que continúen llegando serán recirculados en el transportador de bandejas y tratará de salir en la misma paletizadora en su siguiente vuelta al circuito.

2.8.1 Paletizadora de Springfield, VA

La instalación de Springfield tiene cinco paletizadoras, ubicadas en el primer piso

2.8.2 Paletizadoras de Maryland

Las instalaciones propuestas de Maryland tendrán cuatro paletizadoras.

2.9 Proceso de inserción manual

La inserción manual comienza con la llegada del primer camión K/C a un andén y continúa hasta que todos los camiones K/C reciban servicio. A medida que las líneas de empacado de las prensas se cambian al modo de inserción manual, los insertadotes, tomados de un grupo de trabajadores, son asignados para armar los

bultos de producto de avance y de encabezado. Estos bultos, llamados bultos K/C se despachan a los camiones K/C. En cada línea de empacado pueden trabajar un máximo de 25 trabajadores. Cada trabajador inserta 500 ejemplares por hora. El tamaño del bulto, el tamaño del conjunto de trabajadores y la capacidad de los trabajadores serán definidos por el usuario.

La inserción manual es un componente crítico de la simulación de la sala de correo porque condiciona las operaciones de la línea de empacado de las prensas. Para cada día de producción, la operación de la línea de empacado de las prensas pasa por tres fases secuenciales:

1) Fase de entrega a domicilio (ED)
2) Fase combinada de entrega a domicilio y ventas a kioscos y en la calle (ED-K/C)
3) Fase de entrega a kioscos y en la calle (K/C)

En la primera fase todos los bultos producidos en las líneas de empacado se ensamblan mecánicamente y se despachan ya sea a los camiones ED o a los camiones AUT. Durante la segunda fase, los bultos se pueden despachar a los tres tipos de camiones. Durante la tercera fase todos los bultos se ensamblan manualmente y se despachan a los camiones K/C. La siguiente sección contiene las descripciones de esas tres fases para una sola prensa. EL ejemplo es para ilustrar las operaciones de la línea de empaque.

Ejemplo:

- Fase ED. Dos líneas de empaque operan normalmente y comparten los productos de la prensa (50% / 50%). Una línea de empaque funciona en modo respaldo.
- Fase ED – K/C. Dos líneas de empaque operan normalmente y comparten el 80% de los productos de la prensa (40% / 40%) Una línea de empaque opera en el modo de inserción manual y recibe el 20% de la producción de la prensa. EN la línea de inserción manual los bultos de

encabezado que no se ponen a un lado por un trabajador manual se apilan en una paleta (de tamaño definido por el usuario) antes de que los bultos lleguen al sistema de bandejas. Estos bultos de encabezado se almacenan hasta la fase K/C.

- Fase K/C. Cuando las prensas todavía están operando, las tres líneas de empacado operan en el modo de inserción manual y comprten los productos de las prensas (33% / 33% / 33%) EN estas líneas de inserción manual, los bultos de encabezado que no se ponen a un lado y retrabajan por un trabajador, se colocan en una paleta antes de que lleguen al sistema de bandejas. Estos bultos se almacenan hasta que la prensa complete su orden de trabajo. Cuando se apaga la prensa, todos los bultos acumulados en las paletas se envían a las líneas de inserción manual para la producción K/C.

En la simulación el usuario definirá la longitud de cada fase al establecer la cantidad de producto a manufacturar en cada fase. Cuando esa cantidad de producto se haya alcanzado, comenzará la siguiente fase. La fase K/C comenzará cuando todos los camiones ED se hayan atendido y terminará cuando todos los camiones K/C se hayan atendido. El usuario también definirá el modo de operación de cada línea de empacado para cada fase. Si una línea de empacado está trabajando en el modo de inserción manual, el usuario definirá el número de trabajadores que estarán en la línea y la tasa de inserción manual.

3 ANIMACIÓN

El modelo de simulación de Arena incluirá una simulación que muestre el flujo general de bultos a través de la sala de correo hasta los andenes y paletizadores. La animación será una proyección horizontal (vista de planta) del sistema. La animación mostrará el movimiento de los bultos a través del sistema de bandejas hasta los andenes de carga y las paletizadoras, Adicionalmente, se mostrarán los valores de algunas variables para mostrarlos dinámicamente.

La gerencia del periódico proveerá un dibujo a escala de la instalación de Springfield y de la instalación propuesta de Maryland en formato CAD que servirá de fondo estático para la animación.

4. Resumen de entradas y salidas.

4.1 Entradas al modelo

Los elementos de datos que se leerán desde archivos ASCII incluyen, pero no están restringidos a:

Prensas

- Tasas de producción
- Programa de producción (1 día o 1 semana)
- Tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar

Nota: los datos de salida de la simulación "Entrega de rollos por vehículos guiados automáticamente" consiste en un programa de producción. Estos resultados se pueden utilizar como sustitución de los aquí señalados.

Línea de empacado de la prensa

- Patrones de activación de la línea (modos y fases)
- Sistema de bandejas
- Velocidad
- Tasa de cambio de los andenes
- Tasa de cambio de los paletizadores

Paletizadores

- Tasa de producción
- Bultos por paleta
- Tiempo medio entre fallas
- Tiempo medio para reparar

Bultos

- Ejemplares por bulto (avance)
- Ejemplares por bulto (encabezado)
- Ejemplares por bulto (inserción manual)

Tiempo de proceso

- Tasa de carga de los camiones
  - ED- Encabezado (Normal)
  - ED- Encabezado (Lento)
  - ED- Avance
  - AUT (Última paleta)
  - AUT (Otras paletas)
- Tiempo de cambio de los andenes
  - ED - Encabezado (Normal)
  - ED – Encabezado (Lento)
  - ED – Avance
  - AUT

Programa de los camiones (para cada camión)

- Ventana de tiempo
- Identificación del camión
- Cantidad a cargar
- Tipo de camión

Inserción manual

- Cantidad de operadores por línea
- Tasa de servicio de los operadores

4.2 Salidas del modelo

Las siguientes medidas de desempeño se escribirán en uno o más archivos ASCII después de correr la simulación. Estos datos se crearán en una base diaria o semanal.

Parámetros de entrada

- Tiempos de proceso
- Niveles de recurso y equipos
- Tasas de fallas

Actividad de las prensas (para cada prensa)

- Tiempo disponible
- Producción total
- Tasa media de producción
- Historia de fallas

Actividad de inserción manual (para cada línea)

- Producción total
- Tasa de producción promedio
- Bultos de encabezado elaborados

Actividad de las bandejas

- Utilización (verde y amarilla)

Bultos

- Resultados por destino

Resultados de despacho

- Cantidad de camiones que llegan a tiempo
- Cantidad de camiones que legan tarde

- Tiempo requerido para completar los camiones

Carga por ventana

- Cantidad de unidades cargadas (real)
- Cantidad de unidades cargadas (programado)

Resultados por andén

- Utilización del andén
- Cantidad de unidades cargadas
- Utilización por ventana

Resultados por camión

- Andén utilizado
- Tiempo de carga de material de avance
- Tiempo en espera
- Tiempo sin ser utilizado
- Tiempo de carga
- Tiempo de cambio
- Resumen por cada tipo de camión

5. Entregas del proyecto

Las siguientes secciones tratan las entregas del proyecto. Al completarse el proyecto, el Washington Post recibirá todos los archivos de computadora que se desarrollaron durante el contrato. El modelo de simulación y los archivos de soporte son de la exclusiva propiedad de comprador. Esto no incluye el "software" Arena a menos que se especifique y que se haya recibido una cotización. SM mantendrá copias de respaldo para el mantenimiento y para su archivo en el caso de que el Washington Post desee efectuar cambios en el futuro.

5.1 Documentación del modelo

La documentación será un proceso continuo durante el desarrollo del modelo. Esta documentación estará contenida en el modelo de Arena e incluirá comentarios detallados que describan las secciones principales de la lógica del modelo. También se debe incluir una lista completa de todas las variables utilizadas en el modelo que contenga: el nombre de la variable, sus atributos, estaciones, colas, etc.

5.2 Manual del usuario

El manual del usuario incluirá todos los elementos por los que SM es responsable. Este manual solamente contendrá información específica del proyecto. EL usuario debe remitirse al Manual del Usuario de Arena para aquellos elementos que sean específicos al "software". EL contenido del manual del usuario será:

1) La especificación funcional
2) Una copia del archivo del modelo en un diskette
3) Una copia de todos los archivos de entrada al modelo, en un diskette
4) Las instrucciones sobre cómo utilizar el modelo

5.3 Validación del modelo

La validación es el proceso de establecer que el modelo representa con precisión el sistema real. Los datos de desempeño que representan las entradas al modelo serán parte esencial para una validación detallada. SM y el Washington Post correrán pruebas de validación de los modelos que se vayan construyendo para confirmar que se representa adecuadamente el desempeño, la lógica y los algoritmos de la realidad.

5.4 Animación

El modelo de Arena incluirá una animación bidimensional diseñada para que el analista pueda reconocer los aspectos dinámicos del modelo. La animación

representará fielmente la distribución en planta provista por el periódico en la forma de un archivo CAD.

6. Aceptación

El estimado de duración del proyecto descrito en este documento es 6 semanas-persona de esfuerzo, las cuales comenzarán tan pronto se firme la aceptación de esta especificación funcional.

El costo de este esfuerzo es $ 99.99. Se emitirán facturas según el siguiente cronograma:

Aceptación de la especificación funcional	$ 33.33
Completación del desarrollo del modelo	$33.33
Aceptación final	$33.33

Este costo no incluye el "software" requerido para correr el modelo de simulación.

Modelo de Simulación de la Sala de Correo del Washington Post

Especificación funcional elaborada por:

Aprobada y aceptada por

Representantes del Washington Post

Gary Lucke, Gerente Ingeniería de Sistemas de Producción

Olivier Girod, Gerente Ingeniería Industrial

Anexo 1

Lista parcial de "software" de simulación

Paquete	Fabricante	Versiones	Usos
Arena	Rockwell Software	Business, Standard, Professional	Simulación de eventos discretos y continuos. Muy útil para representar modelos de diferentes sistemas. Muy buena animación
Automod	Autosimulations		Simulación de eventos discretos y continuos. Manejo de materiales detallado
Deneb/Quest	Deneb Robotics	Plataforma que integra a varios paquetes: IGRIP, Ergosim	Simulación robótica y análisis ergonómico.
Extend	Imagine That Inc.		Orientado a proceso, aunque puede manejar modelos continuos y combinados
Promodel	Promodel Corporation	Dirigido a sistemas de manufactura	Modulo Simrunner tiene un algoritmo de optimización
WItness	The Lanner Group	Simulación de eventos discretos	Animación en 2-D
Ithink		Simulación de eventos continuos	

Anexo 2

Datos problema 16

Tiempos observados entre la llegada de clientes (en minutos)

9.86	7.87	11.56	0.45	24.01	13.10	7.87	0.31	20.63	10.77	20.25	21.36
4.30	2.93	28.86	8.75	17.69	7.577	20.65	3.14	0.77	4.23	8.43	13.15
4.64	11.98	0.73	5.83	2.23	1.14	8.93	7.16	2.00	15.85	1.30	6.13
20.40	1.98	11.29	0.46	7.03	4.47	2.14	2.80	6.03	9.07	2.17	9.44
12.54	5.02	9.26	4.02	1.25	10.59	8.67	1.02	30.96	0.54	1.16	16.42
11.13	5.61	3.31	9.35	3.18	4.06	21.73	3.50	12.85	7.39	3.00	12.60
25.75	6.21	11.70	5.92	3.55	2.07	0.86	5.26	9.81	5.55	11.46	0.28
4.91	0.66	2.23	3.08	9.71	2.74	0.51	19.12	12.72	1.81	0.17	13.03
5.81	2.51	10.23	7.57	1.61	12.58	2.69	3.31	3.50	3.43	1.35	6.60
1.28	47.02	9.34	10.83	6.00	9.98	19.51	5.01	1.74	19.41	5.24	0.38
1.47	4.02	0.65	3.95	3.38	1.95	2.80	6.47	3.57	19.21	1.76	14.85
14.19	6.85	3.67	13.84	28.95	1.57	1.29	6.53	2.21	0.95	30.04	8.64
5.12	2.81	3.98	0.52	18.40	3.83	4.96	8.58	3.98	2.80	0.006	1.10
3.02	12.83	9.52	2.54	21.36	8.35	14.38	4.40	4.81	1.26	1.77	13.56
4.58	8.83	3.28	11.50	5.26	2.91	8.37	0.022	2.86	1.05	9.71	4.39
3.16	7.63	2.15	7.30	18.06	14.04	5.03	0.93	0.989	3.73	2.11	0.039
0.52	3.48	0.278	8.07	9.35	4.97	5.77	3.87				

Anexo 3

Datos problema 30

Tiempos observados de traslado de grúas

1.39	1.74	1.82	1.88	2.26	1.65	1.22	2.81	1.59	1.30	1.49	1.57
2.36	1.88	1.97	2.83	2.23	1.35	2.75	1.69	1.22	1.36	1.35	1.34
1.26	2.23	1.37	2.41	1.82	1.26	1.50	1.82	2.18	1.42	1.35	1.91
2.64	1.35	2.04	2.38	1.42	2.75	2.31	2.24	2.49	1.84	1.59	1.57
2.78	2.19	2.78	1.62	1.59	2.76	1.63	2.06	1.50	2.51	2.86	2.69
2.31	1.80	2.43	1.94	2.04	2.55	1.76	1.47	1.87	2.66	2.55	2.03
2.19	1.36	2.30	2.55	2.23	1.66	1.89	2.81	2.64	1.95	1.28	2.21
2.12	2.52	1.48	2.43	1.38	2.05	2.13	1.79	1.42	2.52	1.54	1.77
1.72	1.60	2.09	2.15	2.36	1.78	1.36	2.27	1.73	2.67	2.61	1.70
1.41	1.82	1.21	2.71	1.70	1.24	1.93	2.79	1.83	2.68	2.71	1.45
2.74	1.67	2.35	2.09	1.78	2.36	2.42	1.78	1.24	2.37	2.00	2.26
1.24	1.33	2.64	2.33	2.43	1.58	1.24	1.92	2.17	2.40	1.27	1.59
2.73	1.28	1.26	2.03	1.56	1.64	2.47	2.06	1.42	2.32	2.21	2.53
1.29	2.73	2.24	2.12	2.60	1.74	2.56	2.09	1.49	1.65	1.58	2.84
1.80	2.16	1.60	2.77	1.43	2.51	2.48	2.39	2.50	1.75	2.03	2.43
1.91	2.80	1.27	1.38	2.25	1.59	2.12	2.57	1.33	2.86	1.28	1.57
1.76	2.07	2.62	2.47	2.66	1.72	1.35	1.91	1.62	2.61	2.60	1.60
1.77	2.44	1.97	2.36	1.37	2.33	2.17	2.34	1.88	2.65	1.79	1.99