

Uso del Simulador Witness para Determinar la Eficacia de un Sistema de Eventos Discretos de Producción: Caso de Estudio del Área de Reparación de una Compañía

Kleber F. Barcia Villacreses, Ph.D.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo V. Km. 30.5 Vía Perimetral, P. O. Box 09 01 5863, Guayaquil, Ecuador

Industrial Manufacturing System Engineering
The University of Texas at Arlington

kbarcia@espol.edu.ec

Resumen

El uso de simulación en computadoras para modelar los sistemas de producción se ha vuelto popular en los últimos años. La simulación nos permite experimentar con modelos de nuestro sistema, los mismos que pueden ser analizados en pocos minutos o en pocas horas, proporcionándonos la capacidad de tomar decisiones para resolver problemas que serían difícilmente observables bajo otras condiciones de análisis.

Este estudio utiliza el paquete de simulación "Witness" para determinar la eficacia del sistema bajo una demanda incremental en un área de reparación de una compañía. Mediante el uso de este software, se modeló el área de reparación de la compañía y se pudo realizar un análisis de sensibilidad del sistema en base a la fluctuación de la demanda. Durante el análisis, el modelo de la situación actual del sistema fue transformado cinco veces hasta lograr el modelo deseado de la situación futura.

El objetivo general de este estudio es lograr modelar una situación futura donde la producción de unidades por día sea mayor que la producción de la situación actual. El objetivo específico es confirmar algunos de los problemas que se presentan en la situación actual y resaltar otros aspectos que podrían resultar problemáticos. Este estudio también busca dar sugerencias para solucionar estos problemas y mejorar el desempeño del sistema.

Palabras Claves: *Mejoramiento de procesos, simulación de procesos, simulación de sistemas.*

Abstract

The use of computer simulation in manufacturing systems has become increasingly popular in the last several years. Simulation lets us experiment with a computer model our system in compressed time providing a decision-making capability that is unattainable in any other way.

This paper uses the simulation package "Witness" to determine system effectiveness under an increasing demand in a product-repair area of a company. Using simulation software the product-repair area of a company was modeled and a sensitivity analysis was carried out. During the analysis, the "as-if" model is changed five times until getting the "to-be" model.

The general objective of this paper is to model a future situation where the production of units per day is greater than the actual situation. The specific objective is to confirm some of the problems that were thought may arise, and highlight some other issues that may become problematic. This paper also aims to produce possible suggestions for avoiding problems and improving the performance of the system.

1. Introducción

El uso de computadoras en el diseño y control de los sistemas de manufactura ha ido aumentando en los últimos años [1], [2] y [3]. Conforme los software de simulación se desarrollan con interfases gráficas y orientados a objetivos, la facilidad de uso se incrementa y por ende su cobertura de aplicación [4]. En este estudio usaremos simulación porque las cosas cambian rápido, la vida útil de los sistemas es corta y la complejidad de los sistemas crece rápidamente [5].

La simulación nos permite experimentar usando modelos de los sistemas de producción en computadora, en tiempo reducido y dándonos la capacidad de tomar decisiones para resolver problemas que en otros análisis no se hubiesen podido detectarse. De esta manera el modelador o diseñador del sistema usa el modelo para contestar la pregunta “¿que pasa si?”, por ejemplo, ¿que pasa si utilizo una máquina adicional en el sistema?, utilizando simulación se puede modificar el modelo fácilmente, aumentar una máquina, correr el sistema y analizar los resultados. Este método es menos costoso y más rápido que experimentar en el sistema real, por otro lado permite considerar un gran número de variables en un sistema complejo. Además, permite eliminar ágilmente las opciones que no generan un mejoramiento del sistema.

La simulación procesa los datos del sistema y genera resultados que son comparados con las metas del sistema. Algunos de estos resultados son: tiempo de ciclo; razón de producción; utilización de recursos; tiempo de valor agregado; tiempo de espera; calidad; costo y flexibilidad [5].

Es importante seguir una metodología de simulación para lograr los objetivos propuestos en cualquier proyecto. En general, la metodología de simulación incluye 12 pasos: definición del problema; planeación del proyecto; definición del sistema; formulación del modelo conceptual; diseño del experimento preliminar; preparación de los datos de entrada; formulación del modelo; verificación y validación; diseño del experimento final; experimentación; interpretación y análisis; e, implementación y documentación [6]

Este estudio utiliza el paquete de simulación WITNESS para determinar la eficiencia del sistema bajo una demanda incremental en un área de reparación de productos en una compañía. Mediante el uso de este software se modeló el área en mención y se realizaron varios análisis de sensibilidad. El objetivo de este estudio es lograr modelar una situación futura donde la producción de unidades reparadas por día sea mayor que la producción de la situación actual. El

objetivo específico es confirmar algunos de los problemas que se presentan en la situación actual y resaltar otros aspectos que podrían resultar problemáticos. Este estudio también busca dar sugerencias para solucionar estos problemas y mejorar el desempeño del sistema.

La primera sección de este estudio da una introducción general de la importancia de la simulación en los sistemas de manufactura, los objetivos y la importancia de la investigación. La segunda sección revisa los conceptos de simulación de eventos discretos analizando tres casos de estudio. En la tercera sección se desarrolla la simulación del área de reparación de productos de la compañía. En la cuarta sección se presentan los resultados de la simulación. Finalmente, en la quinta sección se exponen las conclusiones y recomendaciones.

2. Simulación de Eventos Discretos

El rol de la simulación es evaluar las alternativas para mejorar el nivel operacional del sistema. La simulación permite realizar múltiples análisis permitiendo cambios rápidos en la lógica de los modelos, siendo capaz de soportar sistemas complejos de manufactura [7]. Los simuladores de eventos discretos son generalmente amigables y fáciles de manejar, están compuestos de gráficos y animaciones y entregan reportes estadísticos detallados y confiables.

WITNESS es un paquete de simulación interactivo y visual de eventos discretos y continuos [7]. Lyons usó WITNESS y otros simuladores para realizar un estudio comparativo de metodologías alternativas para modelar operaciones en pequeñas industrias [8], Runciman usó WITNESS para demostrar como la razón de producción podría incrementarse en un estudio de una compañía minera [9] y Farrington demostró la utilidad de WITNESS en la simulación en un sistema de manufactura de prendas de vestir [10]. Por las condiciones del estudio y en base a una comparación entre varios software, se escogió WITNESS para lograr los objetivos propuestos. Entre las principales características del simulador, están las siguientes:

- Es un software orientado fuertemente a las máquinas.
- Utiliza varios elementos para simular sistemas de manufactura discretos.
- Contiene elementos para procesos continuos como flujo de fluidos a través de procesadores, tanques y tuberías.
- Combina los elementos permitiendo usarlos en varios modelos.

- El elemento máquina puede ser sencilla, de lotes, de producción, de ensamble, multi-estaciones y multi-ciclos.
- El comportamiento de cada elemento es descrito en forma detallada permitiendo la interacción con el usuario.
- Tiene animación 2-D y permite visualizar el flujo del proceso.
- La familia WITNESS permite animación en 3-D, documentación de los procesos y optimización.
- El software permite correr el programa a diferentes velocidades con la opción de detenerlo en cualquier tiempo t.

3. Caso de Estudio

ABC es una compañía manufacturera de accesorios electro-mecánicos. ABC esta creciendo rápidamente y desea predecir cual será su requerimiento de recurso humano y equipos para cumplir con la demanda del mercado. La compañía busca contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cual será el número de empleados que necesitaré para cumplir con en volumen de producción requerido?
- ¿Cual es el turno de trabajo óptimo que debo implantar en el proceso?
- ¿Cuales son los cuellos de botella que limitan la producción del proceso?
- ¿Cuales son las políticas de control de producción que debe tener en el proceso?

Una de las áreas de producción es el área de reparación, la misma que es objeto de este estudio. Actualmente llegan 1.350 unidades por día. Existen tres tipos de unidades que son reparadas en esta área:

1. 50 % de las unidades son de tecnología 2000-J10
2. 25 % de las unidades son de tecnología 3000-J11
3. 25 % de las unidades son de tecnología 4000-J11

La compañía necesita saber las características del área de reparación si la demanda crece a 5.000 unidades por día.

El área de reparación.- consiste en una serie de celdas de reparaciones paralelas e independientes. Los productos de un tipo de tecnología no pueden cruzarse a otra celda cuando están en producción. Una celda de reparación puede ser reconfigurada para reparar un tipo de producto diferente, pero requiere de dos horas para ajustes y cambio. El layout es idéntico para todas las celdas. Una celda realiza las siguientes tareas (el tiempo de ciclo, el grado del recurso humano y el número máximo de estaciones o recurso humano por celda son detallados junto a cada tarea):

1. *Prueba rápida.* 5 min., Asistente técnico, 1 estación por celda.
2. *Arreglo rápido.* 2 min., Asistente técnico, 2 estaciones por celda.
3. *Preparación.* 10 min., Asistente técnico, 3 estaciones por celda.
4. *Reparación.* 20 min., Tecnólogo, 3 estaciones por celda.
5. *Calibración y prueba.* 30 seg. Carga manual, 9 min. prueba automática, 30 seg. Descarga manual, Asistente técnico, 3 estaciones por celda.
6. *Ajuste.* 2 min., Tecnólogo, 1 estación por celda.
7. *Etiquetado.* 2 min., Operador 2, 1 estación
8. *Inspección.* 2 min., Asistente técnico, 1 estación
9. *Actualización de datos.* 30 seg., Operador 1, 1 estación
10. *Salida.* 15 seg., Operador 2, 1 estación
11. *Empaque.* 1 min., Operador 1, 1 estación

Todas las unidades llegan a (1) *prueba rápida*. De (1), 55% de las unidades van a (2) *arreglo rápido*. El otro porcentaje requiere un nivel mas alto de diagnostico y mayor entrenamiento del personal. De (1), 45% van a (3) *preparación*. De (3), las unidades van a (4) *reparación*. Todas las unidades de (2) y (4) van a (5) *calibración y prueba*. En la estación (5), 90% pasa la prueba y va a (6) *ajuste*. Aproximadamente 10% de las unidades de la estación (5) fallan y deben ser devueltas a las estaciones (3) y (4). Después de la calibración y prueba el flujo es lineal de (6) a (7) a (8) a (9) a (10) a (11) y al área de despacho.

El equipo de prueba automática de la estación (5) esta propenso a fallas. Este equipo tiene un tiempo promedio de falla (MTTF) basado en las horas de operación de 8 horas. El tiempo promedio de reparación (MTTR) es 30 min. Para reparar el equipo se requiere un técnico.

A continuación se aplica el simulador WITNESS para investigar los parámetros del proceso y probar varias hipótesis para lograr la producción deseada.

Modelo “As-Is”.- Se crea un modelo preliminar que representa el sistema real. Este modelo da una visión simplificada del proceso y ayuda a determinar los componentes, variables e interacciones. El modelo esta creado en WITNESS donde los elementos de diseño del simulador son de gran ayuda para representar las partes del proceso.

El área de reparación de productos tiene 8 líneas (4 líneas procesan las unidades 2000-J10; 2 líneas procesan las unidades 3000-J11 y 2 líneas procesan las unidades 4000-J11). Las Líneas tienen la misma capacidad y reciben el mismo número de unidades por periodo de tiempo. Una línea despacha 169 unidades por día con dos turnos de trabajo. Para lograr esta

meta, el área necesita: 4 asistentes técnicos, 4 tecnólogos, 2 operadores 1, 2 operadores 2 y 2 técnicos de prueba. Un turno en un día significa 11.5 hrs. de trabajo, 11.75 hrs. fuera de turno y 0.75 hrs. de descanso.

La simulación esta enfocada en una sola línea ya que el comportamiento de las 8 líneas es idéntico. Entonces, las experimentaciones deben lograr una producción de 625 unidades por día y por línea, ver la Figura 1.

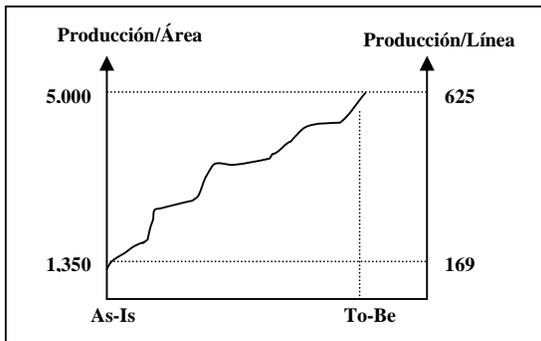


Figura 1. Curva de Producción

En base a esta información se desarrolló el modelo “As-Is” para representar el estado actual de una línea del área de reparación, ver la Figura 2.

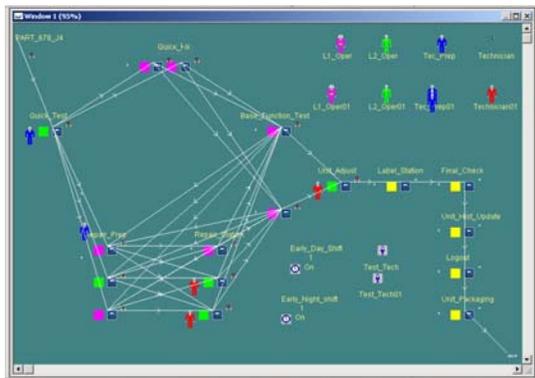


Figura 2. Área de Reparación de Productos. 1.350 Partes/Día. Una línea

La simulación fue corrida por dos días, sin embargo se consideraron solo los resultados del segundo día para evitar distorsiones debido al periodo inicial de la corrida. Las tablas 1, 2 y 3 muestran algunos resultados estadísticos.

Tabla 1. Estadística de Producción. Modelo As-Is

Nombre	Partes que entran	Partes que salen
Unidades por línea	169	169

Total producción (8 líneas) 1352 Unidades

Tabla 2. Estadística de Mano de Obra. Modelo As-Is

Nombre	% Ocupado	% Ocioso	Cantidad
Operador 1 Noche	46.6	53.4	1
Operador 2 Noche	61.76	38.24	1
Asist. Técnico Noche	84.73	15.27	2
Tecnólogo Noche	78.18	21.82	2
Operador 1	45.88	54.12	1
Operador 2	64.92	35.08	1
Asist. Técnico	85.63	14.37	2
Tecnólogo	75.8	24.2	2
Tec. de Prueba	7.71	92.29	1
Tec. De Prueba Noche	7.51	92.49	1

Tabla 3. Estadística de Máquinas. Modelo As-Is

Nombre	% Ocioso	% Ocupado	% Bloqueado
Prueba Rápida	19.3	55.59	18.26
Arreglo Rápido (1)	18.97	5.99	64.42
Arreglo Rápido (2)	23.18	4.94	61.72
Preparación (1)	15.32	24.07	54.48
Preparación (2)	19.08	20.76	53.29
Preparación (3)	23.05	18.13	52.61
Reparación (1)	5.3	42.92	44.6
Reparación (2)	6.25	41.94	44.2
Reparación (3)	8.01	40.6	44.58
Cal. y Prueba (1)	4.36	58.89	2.57
Cal. y Prueba (2)	5.24	58.17	2.2
Ajuste	61.9	22.09	0.89
Etiquetado	66.07	22.08	4.63
Inspección	52.62	22.08	0.11
Act. de Datos	86.92	5.52	0
Salida	87.9	2.76	0.44
Empaque	66.4	20.8	2.64

Experimentación.- El procedimiento que se siguió en esta sección fue el siguiente:

1. Desarrollar el modelo As-Is
2. Identificar el cuello de botella del proceso
3. Balancear el recurso humano
4. Balancear las estaciones de trabajo
5. Aplicar el sistema pull en el proceso

6. Balancear la línea incrementando o disminuyendo el número de trabajadores o el número de máquinas basado en la demanda deseada
7. Aplicar reducción de lote. Uno a la vez.
8. Desarrollar el modelo To-Be

Se realizaron cuatro configuraciones para optimizar la línea. Las configuraciones se generaban aumentando, disminuyendo o re-distribuyendo los recursos.

Configuración 1.- La primera configuración se genero en base a las estadísticas de las máquinas del modelo As-Is. Esta información permitió identificar el cuello de botella que estaba ubicado en la estación de calibración y prueba. Las estaciones posteriores al cuello de botella estaban ociosas mientras que la estación de calibración y prueba estaba ocupada o esperando por mano de obra todo el tiempo. Las acciones que se tomaron fueron: incrementar a 8 el número de asistentes técnicos, incrementar a 8 los tecnólogos y mover la prioridad de la mano de obra a la estación cuello de botella. Como resultado, la producción aumentó a 202 unidades por línea y la mano de obra fue mejor utilizada. La Figure 3 muestra las estadísticas en esta configuración.

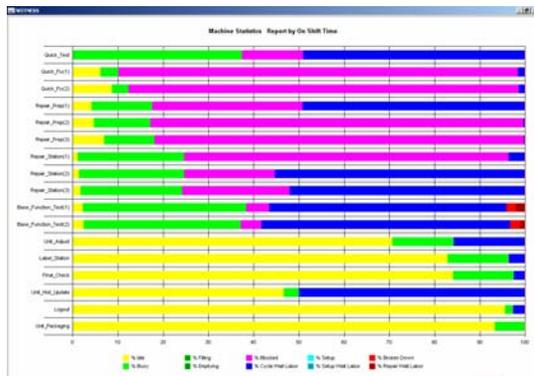


Figura 3. Estadística de Máquinas. Configuración 1

Configuración 2.- En la segunda configuración se tomaron las siguientes acciones: incrementar a 12 los asistentes técnicos, incrementar a 12 los tecnólogos, mover la prioridad 1 a la estación de inspección y balancear el tiempo en todas las estaciones de trabajo cambiando el número de máquinas. Como resultado se incremento la producción a 347 unidades por línea. La Tabla 4 resume el actual número de máquinas y el tiempo de ciclo por estación. La Tabla 5 y la Figura 4 muestran los cambios implementados en esta configuración.

Tabla 4. Configuración Actual por línea

Cantidad de máquinas por estación	Tiempo de ciclo por estación (min.)
1 PR	5
2 AR	1
3 P	3.3
3 R	6.7
2 CP	5
1 A	2
1 ET	2
1 I	2
1 AD	0.5
1 S	0.25
1 EM	1

Tabla 5. Línea Balanceada

Cantidad de máquinas ajustadas por estación	Tiempo de ciclo ajustado por estación (min.)
2 PR	2.5
1 AR	2
4 P	2.5
8 R	2.5
4 CP	2.5
1 A	2
1 ET	2
1 I	2
1 AD	0.5
1 S	0.25
1 EM	1

Configuración 3.- Aplicación del sistema pull. En el simulador WITNESS, la estación que tiene “Input from wait” cambia a “Input from pull” y la estación que tiene “Output to push” cambia a “Output to wait” cuando se lo requiere y sea posible. Esta estación aplica la técnica de halar (Pull) desde la estación $i + 1$ todo el material que necesita de la estación i , cuando esta ultima esta en estado de espera (wait). Otras acciones fueron: disminuir a 8 el número de tecnólogos, incrementar a 4 los técnicos de prueba, dar prioridad 1 a la estación de ajuste, reducir a 2

máquinas la estación de preparación y reducir a 4 máquinas la estación de reparación. Como resultado se incrementó la producción a 405 unidades por línea.

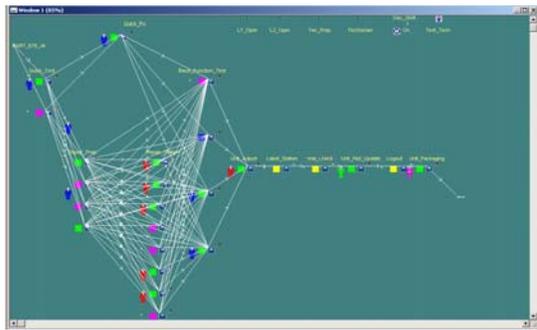


Figura 4. Configuración 2

Configuración 4.- Re-balancear la línea. Si deseamos obtener una producción de 625 unidades por línea al final del día de trabajo, necesitamos tener un tiempo de ciclo de 2 minutos por estación, ver la Tabla 6 y la Figura 5.

$$\text{Tiempo de trabajo/número de partes} = 1380 \text{ min.}/625 \text{ partes} = 2.21 \text{ minutos}$$

Otras acciones fueron: incrementar a 14 los asistentes técnicos e incrementar a 4 los operadores 2. Como resultados aumentó la producción a 537 unidades por línea.

Tabla 6. Re-balanceo de la Línea

Cantidad de máquinas ajustadas por estación	Tiempo de ciclo ajustado por estación (min.)
3 PR	1.7
1 AR	2
3 P	3.3
6 R	3.3
5 CP	2
1 A	2
1 ET	2
1 I	2
1 AD	0.5
1 S	0.25
1 EM	1

Modelo To-Be.- El modelo final da el resultado deseado. Este modelo incluye el uso de buffers en la línea. Se colocó un buffer entre dos grupos consecutivos de máquinas en toda la línea. La

capacidad de los buffers es unitaria. Otras acciones fueron: incrementar a 16 los asistentes técnicos, incrementar a 14 los tecnólogos, incrementar a 10 los técnicos de prueba y el mantenimiento es realizado durante los 30 minutos de descanso y durante la noche. Como resultado se incrementó la producción a 625 unidades por línea. El experimento corrió exitosamente y se pudieron obtener los resultados esperados. Ver el modelo To-Be y las estadísticas de las máquinas en las Figuras 6 y 7.

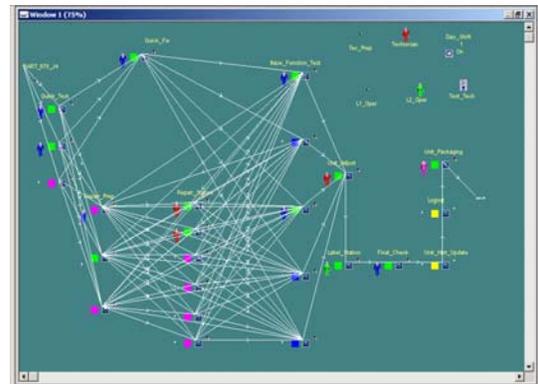


Figura 5. Configuración 4

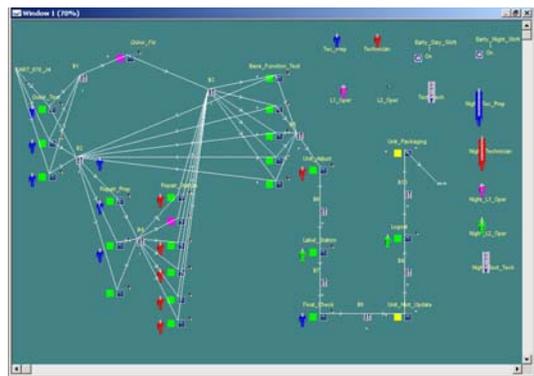


Figura 6. Área de Reparación para 5.000 Partes/Día. Una Línea

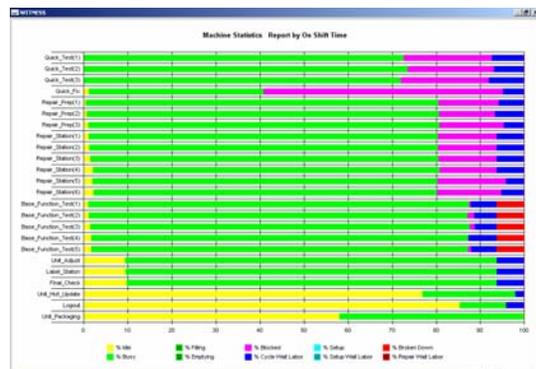


Figura 7. Estadísticas de Máquinas. Modelo To-Be.

Las Tablas 7, 8 y 9 muestran algunos resultados obtenidos en la simulación.

Tabla 7. Estadística de Producción. Modelo To-Be

Nombre	Partes que entran	Partes que salen
Unidades por línea	625	625

Total producción (8 líneas) **5000** Units

Tabla 8. Estadística de Mano de Obra. Modelo To-Be.

Nombre	% Ocupado	% Ocioso	Cantidad
Operador 1 Noche	44.63	55.37	1
Operador 2 Noche	61.39	38.61	2
Asist. Técnico Noche	80.69	19.31	8
Tecnólogo Noche	82.97	17.03	7
Operador 1	46.6	53.4	1
Operador 2	64.09	35.91	2

Tabla 9. Estadística de Máquinas. Modelo To-Be.

Nombre	% Ocioso	% Ocupado	% Bloqueado
Prueba Rápida (1)	0.04	72.77	21.15
Prueba Rápida (2)	0.05	73.72	19.75
Arreglo Rápido	0.18	40.08	56.55
Preparación (1)	0.15	80.26	13.61
Preparación (2)	0.16	80.24	13.52
Preparación (3)	0.19	80.22	14.1

Análisis de Costo.- El análisis de costo esta basado en el requerimiento de mano de obra y máquinas de los modelos As-Is y To-Be. El costo anual actual de máquinas y mano de obra para una línea de producción en el área de reparación de la compañía es de \$1.570.000 y el costo anual futuro en el modelo To-Be es de \$3.640.000. El costo unitario para una producción de 1.350 unidades por día es de \$25.45 y el costo unitario para una producción de 5.000 unidades por día es de \$15.96. Entonces, se concluye que las mejoras en el área de reparación nos lleva a una reducción de costos del 37.31%.

4. Resultados

Para cada configuración, mediante el uso del simulador WITNESS, se ha logrado determinar la producción y el costo unitario. Estos resultados se muestran en las Figuras 8 y 9.

En base a la información del modelo As-Is se desarrollaron las cuatro configuraciones que permitieron optimizar la producción de las líneas hasta lograr el modelo To-Be.

El modelo To-Be representa el sistema real e identifica el cuello de botella en el área.

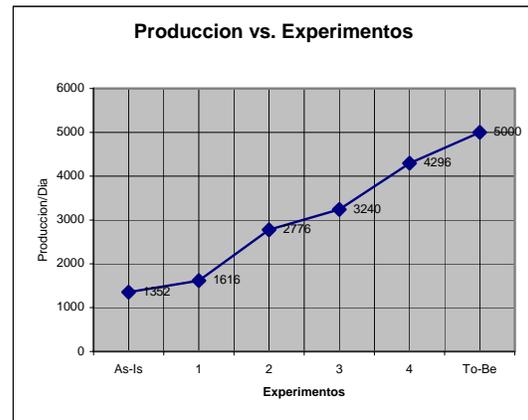


Figura 8. Producción vs. Experimentos

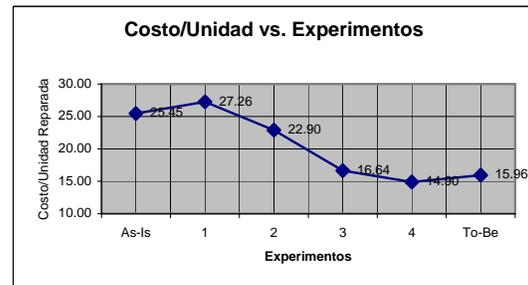


Figura 9. Costo/Unidad vs. Experimentos

En base a las estadísticas de máquinas del modelo As-Is, se desarrollo la primera configuración incrementando el número de operadores y cambiando la prioridad de servicio de las máquinas para eliminar el cuello de botella. La primera configuración permitió identificar la falta de balanceo de la línea.

La segunda configuración incremento en número de operadores, cambio las prioridades en las estaciones de trabajo y cambio en número máquinas para balancear la línea. Esta configuración ayudó a identificar el exceso de inventario en proceso entre las estaciones.

La tercera configuración ajustó el número de empleados y máquinas y aplicó el sistema pull para minimizar el inventario en proceso.

La cuarta configuración volvió a balancear la línea y aumentó el número de operadores.

El modelo To-Be dio los resultados deseados. Este modelo incluyó el uso de buffers en la línea,

incrementó el número de operadores y cambió los programas de mantenimiento de las máquinas.

Los resultados del caso de estudio estuvieron basados en varios experimentos de un día de simulación. Estos resultados son valores promedios.

5. Conclusiones y Recomendaciones

La simulación es una herramienta apropiada para un rápido análisis “¿que pasa si?” en los procesos. Cuando los procesos son complejos o los modelos matemáticos son difíciles de construir, la técnica de simulación es muy útil. Una de las características más importante es la habilidad de mostrar la ejecución del proceso en forma dinámica en cualquier intervalo de tiempo. Esta característica permite hacer mejoras continuas en experimentos secuenciales.

Sin embargo, hay algunos puntos importantes que considerar cuando se usa la herramienta de simulación:

- La simulación puede ser costosa y consume mucho tiempo.
- Los resultados de la simulación están sujetos a la interpretación humana y son susceptibles a error.
- La solución de la simulación puede no ser aplicable en el proceso real.
- Los factores humanos y tecnológicos pueden ser ignorados.

En el caso de estudio, los experimentos permitieron realizar un análisis para mejoras sin perturbar el sistema real. Los problemas que se identificaron se pueden resolver aplicando las siguientes sugerencias:

- Minimizar los cuellos de botella incrementando mano de obra o máquinas. Esto es una solución efectiva para reducir el inventario que espera a ser procesado entre las estaciones de trabajo.
- Balancear la línea y establecer prioridades de máquinas. También es importante que los trabajadores sean multi-funcionales para que puedan trabajar en más de una estación.
- Establecer el sistema pull una vez que la línea esta balanceada, es decir, producir lo que se consume, producir en pequeños lotes, bajo inventario y buena comunicación.

- Usar buffers en la línea con capacidad de uno. Los buffers ofrecen un mejor control del inventario en el proceso.

6. Referencias

- [1] L. Ash y C. D. J. Waters, “Simulating the transport of coal across Canada, strategic route planning,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 42, pp. 195-203, 1991.
- [2] J. Banks, “Simulation of material handling systems,” *Simulation*, vol. 55, pp. 261-70, 1990.
- [3] J. T. Black and B. J. Schroer, “Simulation on an apparel assembly cell with walking workers and decouplers,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 12, pp. 170-80, 1993.
- [4] F. T. S. Chan, “Using simulation to predict system performance: a case study of an electro-phoretic deposition plant,” *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 6, pp. 27-38, 1995.
- [5] C. Harrel and K. Tumay, *Simulation made easy. A manager's guide*. Norcross, Georgia, 1995.
- [6] C. D. Pegden, R. E. Shannon, and R. P. Sadowski, *Introduction to Simulation Using SIMAN*. Highstown, New Jersey, 1990.
- [7] I. Lanner Group, *Learning WITNESS*. Houston, TX: Lanner Group, Inc, 2004.
- [8] A. C. Lyons, M. Nemat, and W. B. Rowe, “A comparative study of alternative approaches to modelling the operations of a small enterprise,” *Work Study*, vol. 49, pp. 107-114, 2000.
- [9] N. Runciman, N. Vagenas, and T. Corkal, “Simulation of haulage truck loading techniques in an underground mine using WITNESS,” *Simulation*, vol. 68, pp. 291-9, 1997.
- [10] P. A. Farrington, B. J. Schroer, and J. Wang, “Front-end system for modeling modern apparel manufacturing systems,” *Computers in Industrial Engineering*, vol. 2, pp. 267-77, 1995