

Aplicación de simulación para evaluar la planeación estratégica de producción en una empresa del sector automotriz

M.C. Joel Everardo Valtierra Olivares¹, Dr. José Manuel Sausedo Solorio², Emmanuel Sandoval Ramírez³, José Ramón Ramírez Martínez⁴

Resumen—P En el presente artículo se muestra la aplicación de la técnica de simulación para evaluar la planeación estratégica de producción en una empresa del sector automotriz empleando la simulación. Dentro de la empresa, el departamento de planeación de producción es el encargado de realizar un plan maestro de producción, donde se determina la programación de los componentes a fabricar por día, semana y mes, también en este plan se establecen las máquinas y modelos a fabricar, así como los tiempos de procesamientos. Para realizar esta actividad se necesita la demanda de los clientes, esta demanda de piezas a fabricar se recibe con tres meses de anticipación. La demanda puede cambiar en el tiempo transcurrido, de manera que quince días antes reciben la demanda final. La propuesta de evaluar la planeación estratégica de producción en estos sistemas de producción de manufactura flexible mediante simulación, es para evaluar las diferentes alternativas de planeación y elegir la mejor. Lo interesante del presente trabajo fue considerar todos los paros de producción, por ejemplo los paros de máquina, el tiempo de reparación, los tiempos de cambios de modelo y paros de los recursos.

Los resultados de las evaluaciones de las diferentes alternativas de planeación estratégica de producción, se muestran en base al tiempo de producción de cada una de las alternativas propuesta.

Palabras clave—Simulación, Planeación estratégica de producción, Demanda, Promodel.

Introducción

Actualmente los aspectos más importantes de la planeación estratégica son la capacidad de producción, las unidades agregadas y los costos de producción. La capacidad define cuantas piezas puede fabricar un sistema de producción, y se mide de formas diferentes; pero por lo general hay una medida natural. La capacidad y la demanda deben estar en las mismas unidades de medición (Daniel Sipper, Robert L. Buslfin, Jr). Existen diferentes alternativas para la planeación estratégica, en el presente trabajo se considera solo la capacidad del producción, sin tomar en cuenta las unidades agregadas y los costos de producción.

Los tipos de planeación estrategias son el plan de inventarios cero, el plan de fuerza de trabajo nivelada y los planes mixtos. En esta investigación se analizaron los planes mixtos, donde se establece un inventario de quince días; y la fuerza de trabajo laboral es nivelada. Para evaluar las alternativas de planeación estratégica se utilizó el indicador de horas de producción y se buscó reducir el tiempo extra de las líneas de producción.

Asimismo, dentro de la planeación estratégica se encuentran varios métodos para resolver el problema de la planeación agregada, como la programación lineal, la planeación desagregada y los métodos de búsqueda directa y simulación.

La programación lineal es el método más adecuado para determinar el mejor plan agregado, al suponer que todas las variables son continuas divisibles.

La planeación desagregada determina los niveles de producción e inventarios para unidades agregadas en cada periodo. En realidad, las unidades agregadas no se producen, por lo que el plan debe considerar productos individuales. Este proceso se llama desagregación y se convierte en el plan maestro de producción.

Los métodos de búsqueda directa y simulación se pueden utilizar a fin de obtener soluciones óptimas, con el uso de la computadora, por consecuencia se pueden encontrar muchos valores de relación posibles de las variables, seleccionar aquella que sea aceptable y proporcionar una solución casi óptima (Daniel Sipper, Robert L. Buslfin, Jr).

¹ Joel Everardo Valtierra Olivares MC. es Profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Guanajuato. jovaltierra@itesis.edu.mx (autor corresponsal)

² José Manuel Sausedo Solorio Dr. es Profesor de Ingeniería Industrial en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. sausedo@uaeh.edu.mx

³ Emmanuel Sandoval Ramírez es estudiante de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Guanajuato, México. emanuel.72@hotmail.com

⁴ José Ramón Ramírez Martínez es estudiante de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Guanajuato, México. jr_ramirez90@hotmail.com

Descripción del proceso de manufactura para fabricar piezas por medio de inyección de aluminio.

El proceso de inyección de aluminio empieza en el horno de fundición en donde se funde el aluminio a una temperatura de 800°C, después es trasladado en contenedores hasta los recipientes de cada línea de producción, para mantener la temperatura a 800°C se utilizan resistencias. Enseguida, un brazo mecánico con un cucharón toma el aluminio del recipiente y lo deposita en la cavidad del cilindro de la máquina de inyección. A continuación un pistón ejerce presión para que el aluminio sea inyectado dentro del molde de la pieza a fabricar. La máquina de inyección tiene un sistema de enfriamiento que hace que se enfríe el aluminio a un estado sólido. La pieza en estado sólido es tomada por un robot que la lleva a la máquina de corte, para quitar el aluminio excedente de la pieza. Enseguida, otro robot coloca la pieza en la banda transportadora para que la pieza llegue a la mesa de inspección donde el operador realiza una inspección visual y revisa los puntos críticos de la pieza. Finalmente, el operario coloca las piezas en una tarima para ser almacenadas, ver proceso de la figura 1.

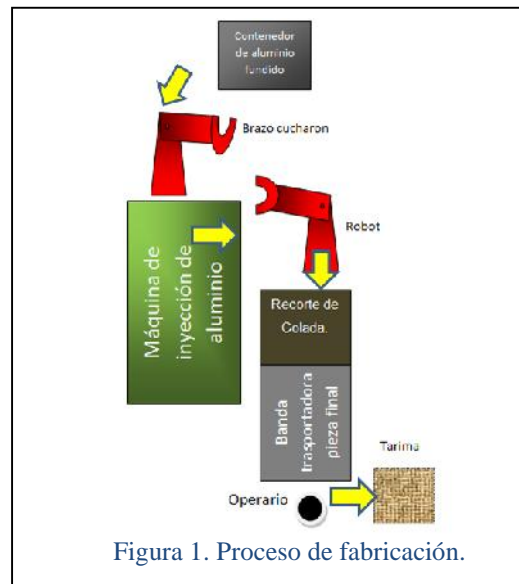


Figura 1. Proceso de fabricación.

Metodología de simulación

Los modelos de simulación se diseñan para que el analista observe las características del sistema que se representa en el modelo simulado, para que sea tomada la mejor alternativa de solución al problema. La metodología de simulación utilizada para la realización de este trabajo fue la propuesta por Law y Kelton (2007), que se menciona a continuación:

1. Formulación del problema.
2. Planeación del estudio del modelo de simulación.
3. Recolección de datos para el modelo.
4. Análisis estadístico de los datos recolectados del sistema
5. Construcción del modelo de simulación.
6. Verificación del modelo de simulación
7. Validación del modelo de simulación.
8. Realización de corridas del modelo de simulación.
9. Realización del análisis y documentación de resultados.

Paso 1. Formulación del problema

La planeación estratégica de producción de las empresas del sector automotriz, no contempla el uso de la disponibilidad de equipos, los cambios de modelo, los tiempos de ajustes de operador y los tiempos de reparación de sus máquinas. Lo anterior provoca que se incremente el tiempo extra y por consiguiente un aumento en el costo de la producción. De manera que, para tomar una mejor decisión en la planeación de la producción se propone realizar la simulación de las líneas de producción.

Paso 2. Planeación del estudio del modelo de simulación.

La planeación del presente trabajo se dividió en tres etapas. La primera etapa consistió en el estudio de los paros de las máquinas en el sistema de producción. En la segunda etapa se elaboró el modelo de simulación de las 6 líneas de producción que se encuentran en el área de estudio. En la tercera etapa se compararon las horas de producción obtenidas mediante el modelo de simulación y las horas de producción real de la planta.

Paso 3. Recolección de los datos para el modelo

La información analizada para el desarrollo de la primera etapa de este trabajo, fueron los registros de paros de la máquinas, los tiempos de reparación de las máquinas, los tiempos entre cambios de modelos, los paros de ajuste por parte de los operadores y los paros generales del sistema, que ocurrieron en el periodo de enero a diciembre del año 2011. También se analizó la cantidad de piezas producidas, la cantidad de piezas planeadas, los tiempos de producción planeados y los tiempos de producción reales.

Para este sistema en particular se determinaron 9 subsistemas de paros que están implicados directamente en el sistema, ver figura 2.

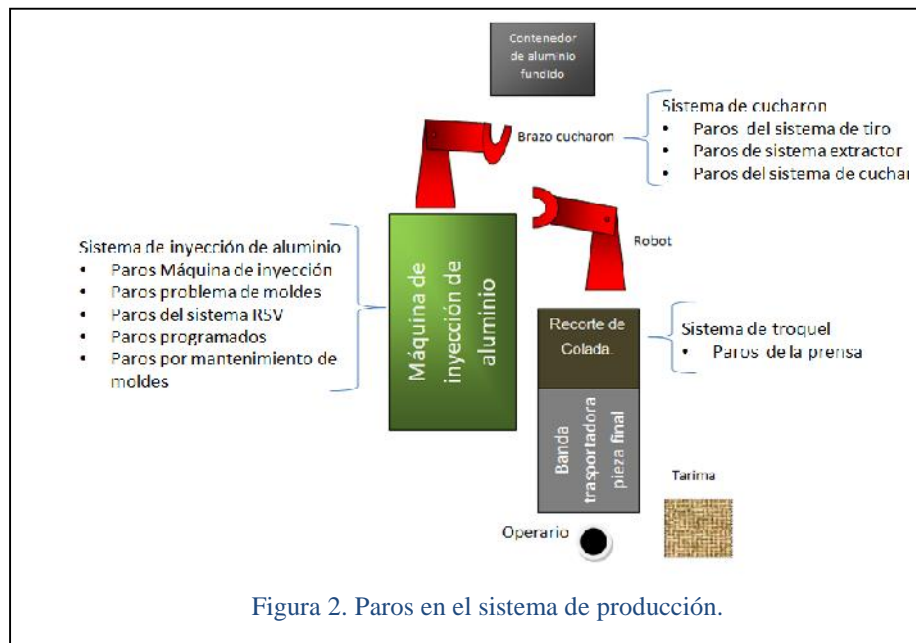


Figura 2. Paros en el sistema de producción.

Paso 4. Análisis estadístico de los datos recolectados del sistema.

Para el análisis estadístico de los datos recolectados del sistema, se utilizaron los siguientes software Stat:Fit (ProModel) e Input Analyzer (Arena); con ellos se determinó la distribución de los 9 paros mencionados anteriormente, ver figura 2. Para cada paro se obtuvo la frecuencia entre paros y el tiempo de reparación de cada uno de ellos. Las distribuciones resultantes de los paros de las máquinas son la distribución Exponencial, Lognormal y Weibull.

Paso 5. Construcción del modelo de simulación.

Una vez que se verificaron los datos estadísticamente, se desarrolló el modelo de simulación en el software ProModel para las líneas de producción. En el modelo de simulación se introdujeron las distribuciones de los diferentes tipos de paros, así como los tiempos ciclos de cada modelo de producción, los tiempos de cambios entre modelos y el porcentaje de scrap de cada máquina.

Paso 6. Verificación del modelo de simulación.

Para verificar el modelo se realizaron 30 corridas de simulación cada una de ellas con diferente semilla generadora de números aleatorios, se estableció la muestra de tamaño 30 basado en el teorema de límite central, y de éstas se calculó el promedio la desviación estándar y la diferencia obtenida entre las piezas reales de la línea de producción y las arrojadas mediante el modelo de simulación.

Paso 7. Validación del modelo de simulación.

Para realizar la validación del modelo de simulación de las líneas de producción, se utilizó la producción real de piezas de cada mes del año 2011, y para determinar el promedio de la producción de piezas del modelo de simulación. Para lo anterior se realizaron 30 corridas de la planeación de producción por cada mes. En el modelo de simulación se varió la semilla generadora de número aleatorios, para obtener resultados diferentes del modelo de simulación. En la validación de los resultados se utilizó una prueba t-Student con un nivel de significancia del 5%, para comparar la producción de piezas reales y el promedio de piezas que da como resultado la simulación.

Las hipótesis estadísticas establecidas para la validación son:

H_0 =No existe diferencia significativa entre la producción de piezas reales y la producción de piezas del modelo de simulación.

H_1 =Existe diferencia significativa entre la producción de piezas reales y la producción de piezas del modelo de simulación.

En la validación de los datos se utilizó la prueba t Student en el software StatGraphics, y para ello se requieren dos muestras: una de la muestras es de 12 datos la cual se obtuvo de la producción real por cada mes, y la otra se obtuvo de los resultados de simulación con un muestra de 12 valores. La prueba t-Student consiste en determinar si existe diferencia significativa entre las medias de las dos muestras y la prueba F para determinar si existe diferencia significativa en la varianza de las dos muestras. Como restricción de la prueba es necesario que las dos muestras tengan una distribución normal ver cuadro 1.

Líneas de producción	Producción del Enero Diciembre 2012	Media	Desviación estándar	Prueba T medias			Prueba F varianza		GL
				Valor t prueba	Valor t 0.025 tabla	Conclusión $ t < t_{0.025}$ se acepta H_0	Valor p	Conclusión $p > 0.05$ no hay diferencia entre varianzas	
411	Real	15448	2116	1.42	2.093	Se acepta H_0	0.99	Se acepta H_0	19
	Simulada	14163	2125						
412	Real	22264	3708	0.19	2.08	Se acepta H_0	0.8318	Se acepta H_0	21
	Simulada	21962	3959						
413	Real	20723	1858	-2.08	2.08	Se acepta H_0	0.64	Se acepta H_0	21
	Simulada	22565	1906						
414	Real	17377	2284	-1.03	2.08	Se acepta H_0	0.59	Se acepta H_0	21
	Simulada	18669	2254						
415	Real	12788	5130	-1.33	2.08	Se acepta H_0	0.52	Se acepta H_0	21
	Simulada	16734	5948						
416	Real	9127	6592	1.25	2.11	Se acepta H_0	0.74	Se acepta H_0	17
	Simulada	9801	5896						

Cuadro 1. Resultados de las pruebas t.

Resultados obtenidos de la línea de producción 413.

Después de validar el modelo de simulación se evaluó la planeación estratégica de la producción de la línea 413. La evaluación consistió en comparar las horas de producción reales contra las horas programadas y las horas simuladas. Para la producción real obtuvieron los resultados reales de la línea 413 de producción del primer trimestre del año 2013. Las horas planeadas de producción fueron determinadas por el departamento de planeación, y para los resultados de simulación se utilizó el plan maestro de producción de los meses de enero, febrero y marzo del año 2013. Con el fin de obtener resultados confiables se realizaron 30 corridas de simulación cambiando las semillas generadoras de número aleatorios; el número de corridas se determinó por el teorema de límite central ver cuadro 2.

Producción de la línea 413						
Mes	Tiempo de producción real en horas.	Tiempo de producción planeado en horas.	Diferencia entre la producción real y la planeada.	Tiempo de producción real en horas.	Tiempo de producción de la simulación en horas.	Diferencia entre la producción real y la simulada.
Enero 2013	425	373	52	425	399	26
Febrero 2013	487	345	142	487	412	75
Marzo 2013	484	427	57	484	513	29

Cuadro 2. Comparativo de horas de producción real, planeado y simulado.

En el cuadro 2, se observa que se tiene un 50% de acercamiento al tiempo real de producción utilizando simulación que la programación que realiza el departamento de planeación. Para verificar cuanta variación se puede tener en la línea de producción, se calcularon los límites naturales del proceso utilizando los resultados de simulación de la muestra de 30 datos del mes de marzo ver cuadro 3.

Mes	Horas de producción real	Horas promedio de simulación	Desv. Est. simulación	1 SIGMA		2 SIGMA		3 SIGMA	
				65% datos		96.9% datos		99.9% datos	
Marzo	484	513	14.5	527.5	498.5	542	484	556.5	469.5

Cuadro 3. Nivel de confianza de los límites.

Al evaluar las alternativas en los cambios de secuencia del plan maestro de producción, se utilizó el mes de marzo para probar las combinaciones de secuencia de la planeación, ver Cuadro 4.

Mes	Producción por modelo	Cantidad
Marzo	Modelo 1	14116
	Modelo 2	2198
	Modelo 3	4048

Cuadro 4. Plan maestro de producción.

Al realizar las seis combinaciones de secuencias para los tres modelos a fabricar, los resultados que se obtuvieron al evaluar las alternativas de secuenciación de programación de los modelos, se observó que al simular en el modelo de simulación la secuencia de programación 2 se obtuvo el mayor tiempo de horas de producción que fue de 520 horas con una desviación estándar de 19.9, a diferencia de la secuencia de programación 6 que obtuvo el menor tiempo de producción que fue de 500 horas con una desviación estándar 21.39. Se realiza una prueba de Hipótesis de dos muestras con un nivel de confianza del 95%, para determinar si existe diferencia significativa entre las horas de producción de las secuencias de programación 2 y 6, el resultado de esta prueba de hipótesis confirma que si existe diferencia significativa en las horas de producción, ver cuadro 5.

Programación de la producción						
No. secuencia	1	2	3	4	5	6
Secuencia de programación de los modelos	Modelo 1 Modelo 2 Modelo 3	Modelo 2 Modelo 1 Modelo 3	Modelo 3 Modelo 2 Modelo 1	Modelo 2 Modelo 3 Modelo 1	Modelo 1 Modelo 3 Modelo 2	Modelo 3 Modelo 1 Modelo 2
Tiempo de producción en horas	513	520	514	510	505	500
Desviación estándar en horas	14.5	19.9	16	19.4	19.7	21.39

Cuadro 5. Combinación de secuenciación de la producción.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Los resultados de la aplicación de simulación para evaluar la planeación estratégica de producción, se demuestra al evaluar las 6 alternativas en la combinación de secuencia de los modelos, donde la diferencia de horas de producción entre las secuencias es un 2.5%. Se demuestra que es confiable utilizar la simulación para evaluar la planeación estratégica, además de que permite emplear diferentes mezclas de productos, la cantidad de productos, la secuencia de los modelos y las máquinas, tomando en cuenta la experiencia del planeador.

Conclusiones

En conclusión la aplicación de simulación para evaluar la planeación estratégica de producción, tienen los siguientes beneficios: elegir la mejor alternativa para el plan maestro de producción, la reducción de incertidumbre por parte del planeador experto, y un mejor control de la fuerza laboral, el tiempo extra y el inventario. Lo anterior, se ve reflejado en la reducción del costo de producción. Estos resultados serán útiles para el gerente de operaciones al momento de determinar el presupuesto de operaciones.

Recomendaciones

Al obtener resultados confiables mediante el uso de la simulación para evaluar la planeación estratégica de producción, es de importancia verificar la confiabilidad de los registros donde se capturan todos los paros que puede tener el sistema que se desea analizar, y realizar un estudio en forma individual por cada subsistema que conforma el sistema.

Referencias

- ¹Seetharama L. Narasimhan. y Dennis W. McLeavey (1996). "Planeación de la producción y control de inventarios" México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.
- ²Sipper, Daniel. y Bulfin, Robert L. (1998). "Planeación y control de la producción" México: McGraw-Hill.
- ³Law, Averill S. y Kelton, David. (2007) "Simulation modeling and analysis" Boston: McGraw-Hill.
- ⁴Blanco, Rivero, L. E. y Fajardo, Piedrahita, I. D. (2006). "Simulación con Promodel casos de producción y logística" Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ⁵García, Dunna, E.; García, Reyes, H. y Cárdenas, Barrón, L. (2006). "Simulación y análisis de sistemas con Promodel" México: Pearson.
- ⁶Lozada, T. T.; Martínez M. A. y Moras S. C. (2011). "Aplicación de simulación para incrementar la productividad de la empresa "La Vieja Molienda de Santa Maty". AcademiaJournal. (5) 1940-2163.

Notas Biográficas

El **M.C. Joel Everardo Valtierra Olivares** es profesor investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Su maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Celaya, de Guanajuato, México. Joel Valtierra proporciona servicios de consultoría en áreas de Lean, Six sigma, Control de Calidad, Simulación de procesos y Producción Total.

El **Dr. José Manuel Sausedo Solorio** es coordinador de la maestría en ciencias en ingeniería de manufactura del Instituto de ciencias básicas e ingeniería en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El Dr. tiene maestría en ciencias computacionales en el I. T. S. M. y doctorado en Optics, C.I.O. Centro de investigación en Óptica.

Emmanuel Sandoval Ramírez es alumno de noveno semestre en la carrera de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

José Ramón Ramírez Martínez es alumno de noveno semestre en la carrera de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.