



Simulación para la optimización de la producción de ejes en la línea de ensamblaje de una empresa de manufactura

Simulation-based optimization for the production of axes in assembly lines of a manufacturing company

López-Sánchez Alicia Yesenia
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Correo: alicia.lopezsn@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4823-379X>

González-Lara Aida Lucina
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Correo: aida.gonzalezlr@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-4029-9487>

Alcaraz-Corona Sergio
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Correo: sergio.alcarazcrn@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0934-7636>

Resumen

En este artículo se expone la simulación del comportamiento de una empresa de manufactura a nivel de producción con el objetivo de generar una solución para uno de sus problemas más graves que es el desabasto del producto final para atender la demanda de los clientes; se define el problema al que se enfrenta la empresa, con lo que se permite identificar las variables y parámetros para la definición del modelo, para ello se recopilaron datos históricos que se analizaron con el software estadístico R para determinar las distribuciones estadísticas. Posteriormente se desarrolló un programa simulador en el lenguaje C#, en el cual se realizaron diversos experimentos mediante los cuales se generaron resultados para su observación y análisis del comportamiento, logrando identificar que los racks se entreguen a tiempo y disminuyendo los costos extras por retardos o por exceso de racks. Se encontró que entre más racks lleguen, los tiempos de ocio y retención de las máquinas disminuye considerablemente, por lo que de acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó que para el caso de las listas de datos proporcionadas por la empresa, es conveniente solicitar máximo 55 racks por hora, generando un promedio entre cinco o seis racks adicionales por semana. Aunque el modelo puede ayudar a la toma de decisiones para pedidos específicos, logrando determinar cuántos racks se solicitan por un tiempo establecido, la problemática abarca no solamente el inventario de racks, sino también las piezas para armar los ejes, por lo que se espera dicha información con el objetivo de generar simulaciones más detalladas y cercanas al sistema real.

Descriptores: Simulación, líneas de producción, desarrollo de software, modelos discretos, empresas manufactureras.

Abstract

In this paper we present a simulation to analyze the production workflow observed at a local manufacturing company in order to generate a solution for one of its main problems which is failing to complete their products on time and satisfy customers' demands. First, we defined the problem by identifying variables and parameters needed to build our simulation model and then we gathered historical data that were analyzed with the statistical software R to determine their statistical distributions. Finally, we implemented the simulator logic in a program developed in C# programming language from which we executed several experiments whose results helped us propose a solution so that racks could be delivered on time and reduce possible additional costs derived by either a lack of or excessive racks. We also found that as more racks come in, the machine idle and retention times get considerably low and based on the obtained results and the data provided by the company, it was determined that 55 racks per hour should be requested, that is, an average of five to six additional racks per week. Even though our model can help determine the number of racks that are necessary for a given time period, the problem at hand is not only concerned with rack inventory but also the pieces needed to build the axes, so it is expected to have this information in order to generate more detailed simulations which are closer to the real system.

Keywords: Simulation, production lines, software development, discrete models, manufacturing companies.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el área de los negocios así como en la industria y el gobierno, se ven obligados a contar con procesos productivos eficientes para generar productos de alta calidad, entregados a tiempo y al menor costo posible para mantenerse en el mercado competitivo. Para lograr lo anterior, existen diferentes alternativas en donde una de ellas es experimentar directamente en el sistema real, lo cual genera costos muy elevados (Ortíz *et al.*, 2006). Pero existe otra alternativa en la cual se reemplaza el sistema real por otro sistema, que en la mayoría de los casos es una versión simplificada del mismo, este proceso de experimentar con un modelo se denomina simulación, mientras que el proceso de diseñar el plan de experimentación para adoptar la mejor decisión se denomina optimización, pero si el plan de experimentación se lleva a cabo con el solo objeto de aprender a conducir el sistema, entonces se denomina entrenamiento o capacitación (Tarifa, 2005).

Según Gottfried la simulación se considera como una actividad mediante la cual se pueden extraer conclusiones acerca del comportamiento de un sistema, estudiando el comportamiento de un modelo, cuyas relaciones de causa y efecto son las mismas (o similares) a las del sistema original (Inzunza, 2013), esta técnica se ha implementado en la combinación de la estrategia Lean & Green aplicada a un sistema de producción de piezas en el sector automotriz (Díaz *et al.*, 2013), también para mejorar la productividad, logrando identificar y disminuir los cuellos de botella en las líneas de producción de una fábrica de pintura (Zahraee *et al.*, 2014), entre otros.

En este trabajo se utilizó la simulación, logrando diseñar un modelo del sistema real de una empresa de manufactura que incluye parámetros configurables, permitiendo realizar experimentos para analizar y evaluar diferentes estrategias referentes al problema del incumplimiento de la demanda (Ingalls, 2011; Shannon, 2003; Carson II, 2005).

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se analizó un sistema de ensamblaje en una empresa localizada en Escobedo, N.L., que se dedica al ensamble de ejes para vehículos de transporte pesado (Figura 1) para el ensamblaje de los ejes traseros, se tienen dos líneas en las cuales hay tres estaciones; para cada estación se cuenta con dos personas para el ensamblaje, una de lado derecho y la otra de lado izquierdo, una vez que el eje de cualquiera de las dos líneas sea liberado, se coloca en un rack o caja para su embarque, después se transportan a un almacén para su entrega.

Cuando la producción se encuentra en proceso, en algunas ocasiones se detiene generando tiempo muerto o de ocio entre estaciones, tanto de la línea uno como de la línea dos, si las cajas se acaban o tardan en empaquetar, el proceso de producción se detiene y se generará tiempo muerto en la última estación, al igual que si hay cinco ejes esperando dicha estación, se detiene la producción para la estación anterior, generando en consecuencia un tiempo de entrega no satisfactorio para el cliente.

El alcance de esta investigación es generar un modelo de simulación que abarque la determinación del número de cajas óptimo para cumplir con la demanda requerida por parte de la empresa, sin incluir el inventario de las piezas debido a que no se tuvo disponible dicha información.

OBJETIVOS

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- Construir un modelo que represente al sistema real con el objetivo de experimentar con él.
- Desarrollar un simulador computacional del modelo.
- Experimentar con el simulador para lograr una adecuada toma de decisiones en la optimización del proceso de la empresa.

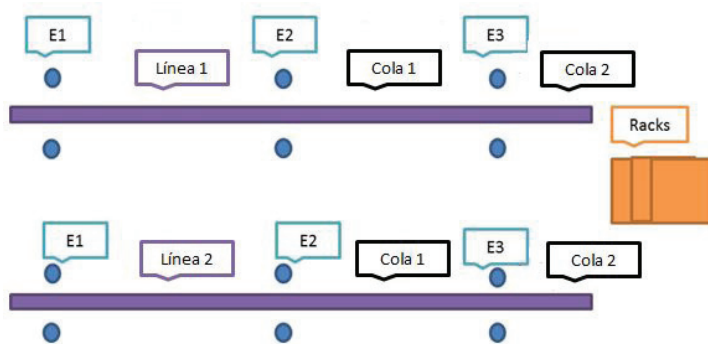


Figura. 1. Proceso de producción de los ejes traseros

En la siguiente sección se describe la metodología que se llevó a cabo para generar diversas simulaciones sobre el modelo desarrollado, logrando realizar un análisis de los resultados a partir de los cuales sea posible generar una propuesta que optimice la producción de ejes en la empresa.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el desarrollo de investigación está dividida en siete fases, en la primera se realiza la formulación del problema al que se enfrenta la empresa de manufactura, la segunda consiste en la definición de los parámetros y variables para generar un modelo de simulación del proceso llevado a cabo por dicha empresa, la tercera es el proceso de la recopilación y análisis de los datos para identificar una distribución que se ajuste a dichos datos, la cuarta consiste en formular el modelo de simulación, la quinta fase consiste en trasladar el modelo a un lenguaje de programación, la sexta es la simulación del modelo para obtener resultados y observar su comportamiento y por último la validación del modelo para comprobar si se ajusta a sistema real.

FORMULACIÓN DE PROBLEMA

Uno de los mayores problemas de la empresa de manufactura, es el incumplimiento de las entregas de los racks, y para mejorar esto, se tiene que el propósito de esta investigación es estimar la cantidad adecuada de racks que debe existir para satisfacer la demanda requerida por semana, logrando reducir pérdidas por la entrega fuera de tiempo.

DEFINICIÓN DE ELEMENTOS DEL MODELO

COMPONENTES Y PARÁMETROS

En este punto se definen los componentes que consisten en los racks o cajas y los ejes armados, líneas de ensamblaje de las cuales hay 2 estaciones donde cuentan con dos operadores, los ejes llegan de manera constante; los parámetros que consisten en los tiempos límites a simular, el tiempo estimado para que llegue un nuevo lote de cajas y el máximo valor a tomar de los valores aleatorios con una distribución definida.

VARIABLES

Se definen las variables del sistema, en las cuales las unidades de tiempo están caracterizadas en minutos

para las dos líneas de ensamblaje $i = 1, 2$ con cada una de sus estaciones $j = 2, 3$:

- Variables exógenas: conocidas también como variables de entrada (Shannon, 2003), en donde **LCajas** = número de cajas iniciales y **Ts(ij)** = tiempos de servicio en cada línea con sus estaciones.
- Variables de estado: son variables que solamente cambian con el tiempo (Flores, 2011), están compuestas por un **Reloj** = contador de tiempo de la simulación, **Delta** = intervalo de revisión de la simulación, **TC** = contador de tiempo para la llegada de un nuevo lote de cajas, **Ret** = booleano que cambia cuando ya no hay cajas disponibles, **NumRet** = número de veces que el proceso se retuvo por falta de cajas, **Fn(i)** = número de ejes terminados y empaquetados en cada una de las líneas, **Na(ij)** = número de ejes atendidos en cada línea con sus estaciones, **To(ij)** = tiempo de ocio en cada línea con sus estaciones y **Cola(i)** = número de ejes que se armaron en la segunda estación y están en espera de la siguiente en cada línea de ensamblaje.
- Variables endógenas: conocidas también como variables de salida y son útiles en la toma de decisiones (Tarifa, 2005), que comprenden **NTa(ij)** = número total de ejes atendidos en cada línea con sus estaciones, **TTo(ij)** = tiempo total de ocio en cada línea con sus estaciones, **FTn(i)** = número total de ejes terminados y empaquetados en cada una de las líneas y **NumRet** = número total de veces que el proceso se retuvo por falta de cajas.

RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

RECOPILACIÓN

La información fue recopilada de datos históricos proporcionados por la empresa en un documento con formato de tabla (Excel), en el que se incluía la información acerca de la hora de inicio y fin del proceso en cada estación, logrando así obtener la cantidad de minutos que tardó una estación en ensamblar una parte del eje, generando una lista de 200 valores para cada una de las estaciones.

ANÁLISIS DE DATOS

Una vez que se obtienen las listas de los tiempos con base en los datos históricos, se utilizó una prueba conocida como "*Test de Kolmogorov-Smirnov*" para comparar 2 distribuciones empíricas (Arriaza *et al.*, 2008) y obtener la distribución que mejor se ajusta a las listas de

datos, donde se tienen n número de observaciones $\{x_i\}_{i=1}^n$ de la variable aleatoria “ x ” y m números de observaciones $\{y_i\}_{i=1}^m$ de la variable aleatoria “ y ”, en el cual “ x ” y “ y ” son 2 fenómenos observados, para dos hipótesis, en donde $F_X(*)$, $F_Y(*)$ son los tamaños de muestras de “ n ” y “ m ” (Mora *et al.*, 2015):

$$H_0: F_X(*) = F_Y(*)$$
$$H_1: F_X(*) \neq F_Y(*)$$

Sea $S_m(x)$ la distribución acumulativa de una muestra de tamaño “ m ” y $S_n(x)$ la distribución acumulativa de otra muestra de tamaño “ n ”, entonces se tiene representado el test de Kolmogorov-Smirnov como (Pei *et al.*, 2010):

$$D_{m,n} = \max[S_m(X) - S_n(X)]$$

Con base en el cálculo del p -valor considerada una prueba de bondad y ajuste que permite declarar que tan significativa es una prueba (Romero, 2012):

- Si el p -valor < 0.001 , significa que la hipótesis nula no es creíble y por lo tanto se descarta.
- Si $0.001 < p$ -valor < 0.05 , significa que hay grandes motivos en contra de la hipótesis nula, por lo que se

rechaza o no depende del valor de α que le hayamos asignado.

- Si el p -valor > 0.05 , significa que no existen motivos suficientes para descartar la hipótesis nula, por ende se toma como cierta.

Para este trabajo, se utilizó una interfaz gráfica para acceder a las características de un paquete estadístico conocido como “R” (Dodero *et al.*, 2014), en el cual se compararon las distribuciones de Poisson, Normal, Uniforme, Exponencial, Geométrica con la lista de datos de las estaciones y de las cajas.

Se llegó a la conclusión, de acuerdo con el análisis de los resultados, que la distribución que mejor se ajusta a la lista de datos de la estación dos es la distribución de Poisson (Figura 2) en donde su p -valor = 0.4653 > 0.05 , de la misma manera para la estación 3 (Figura 3) en donde su p -valor = 0.1122 > 0.05 , mientras que en el caso del número de cajas que llega en un determinado tiempo, la distribución que mejor se ajusta es la distribución Gaussiana rectificadora (Figura 4), en donde los valores aleatorios fueron truncados, generando un p -valor = 0.0955 > 0.05 .

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: e2 and rpois(200, lambda.e2)
D = 0.085, p-value = 0.4653
alternative hypothesis: two-sided
```

Warning message:

```
In ks.test(e2, rpois(200, lambda.e2)) :
  p-value will be approximate in the presence of ties
```

Figura 2. Resultado del test de Kolmogorov de la estación dos con distribución de Poisson

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: e3 and rpois(200, lambda.e3)
D = 0.12, p-value = 0.1122
alternative hypothesis: two-sided
```

Warning message:

```
In ks.test(e3, rpois(200, lambda.e3)) :
  p-value will be approximate in the presence of ties
```

Figura 3. Resultado del test de Kolmogorov de la estación tres con distribución de Poisson

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

```
data: Caja and CajaNew
D = 0.0955, p-value = 0.3246
alternative hypothesis: two-sided
```

Warning message:

```
In ks.test(Caja, CajaNew) :
  p-value will be approximate in the presence of ties
```

Figura 4. Resultado del test de Kolmogorov en la distribución gaussiana rectificadora para las cajas

FORMULACIÓN DE MODELO

Se generó un modelo representado en un diagrama de flujo, el cual se dividió en 3 secciones: en la primera, se incluyen los generadores de valores de variables aleatorias con distribución de Poisson y Gaussiana Rectificada, en la segunda se declaran las variables a partir de las cuales se solicitan los valores de las variables aleatorias, donde se muestran los procesos que se generan cuando se termina el tiempo estimado para la próxima entrega de cajas, o si las cajas ya no se encuentran disponibles, así como el proceso de finalización de la solución cuando el tiempo estimado de producción termina, mostrando las variables requeridas para su observación, comparación y análisis. En la tercera sección (Figura 5) se muestran los procesos de producción para la estación dos cuando el tiempo de ensamblaje termina y se lleva a la fila de espera de la siguiente estación; si todavía hay espacio disponible y, lo que pasaría si no hay espacio en dicha fila, finalmente para la estación tres se muestra el proceso cuando hay cajas disponibles y se empaqueta el eje terminado y qué pasaría si dichas

cajas ya no se encuentran disponibles, para ambas estaciones.

TRASLACIÓN Y SIMULACIÓN DEL MODELO

Se decidió desarrollar un programa de simulación en lugar de utilizar un software existente, ya que se tiene la ventaja de adecuarse al problema y no viceversa, es decir, no generar cambios o limitar a las variables y parámetros para que la herramienta funcione; el modelo formulado se trasladó a un lenguaje de programación simple, moderno y orientado a objetos denominado C# (ECMA, 2006), se generó el diseño de una interfaz (Figura 6), en el cual sus valores de entrada son el número de horas de trabajo que se realizan, el número de iteraciones que se desean analizar y el número máximo de cajas cuando llega un nuevo lote y se obtiene como resultado el tiempo total de ocio y la cantidad de veces que se retuvo el proceso por falta de cajas, los tiempos totales de ocio y el número de ejes atendidos en las líneas con sus respectivas estaciones, así como el número de ejes terminados y empaquetados en cada línea.

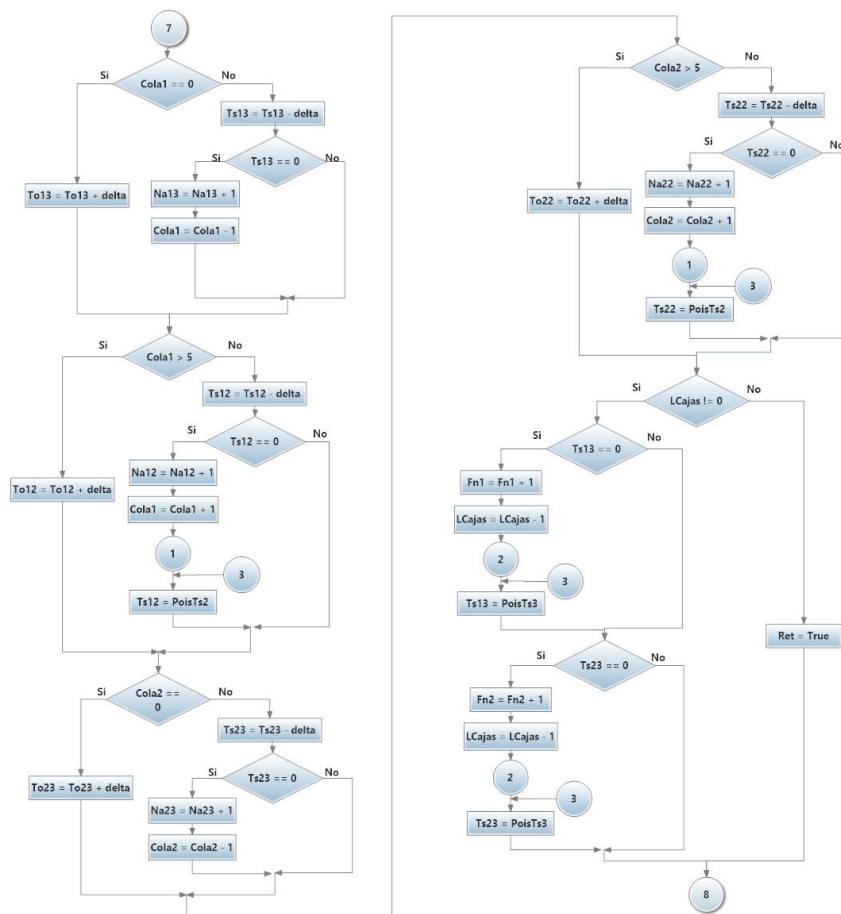


Figura 5. Sección de proceso de las dos líneas de producción con sus estaciones

VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Una vez trasladado el modelo, se generó un análisis estadístico para determinar el número de réplicas necesarias usando el método de estimación de la media de población, para diferentes llegadas de cajas, como se muestra en la Tabla 1, en donde se estableció un error deseado 90 cajas, es decir, un porcentaje de 2.5% para un máximo de 70, 3.2% para 60, 3.4% para 55, 3.5% para 50 y 4.7% para 40, con un nivel de confianza de 95%:

- $n' = 10$, tamaño de la corrida inicial.
- $t_{(n'-1, 1-\alpha/2)} = 2.2622$, valor de la tabla de la distribución *t-Student*

Asimismo, para validar el modelo se realizaron corridas con los parámetros originales del modelo, generando una lista de 100 datos y comparándolas con la misma cantidad de datos de la producción generada semanalmente por la empresa, usando el contraste T de *Student*

para dos muestras independientes con un intervalo de confianza de 95%, en R (Figura 7), permitiendo validar el modelo debido a que su $p - valor = 0.483 > 0.05$.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

PARÁMETROS

Se plantearon los valores de los parámetros que se estimaron para la experimentación del modelo con un máximo de 40, 50, 55, 60 o 70 cajas de entrega por cada hora para cada semana (5 días) de trabajo.

RESULTADOS DE CINCO DÍAS LABORALES

La Tabla 2 muestra las medias de doscientos resultados para una semana laboral, en los cuales, se toman en cuenta la hora de comida y una aproximación de veinte minutos de preparación antes de iniciar el turno laboral, las variables endógenas que se muestran son:

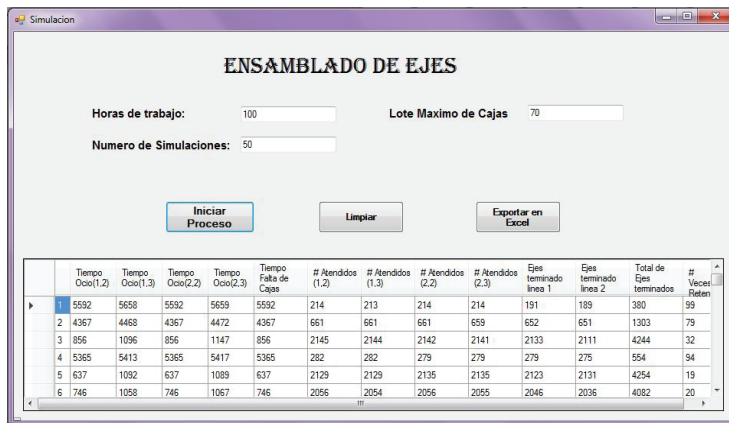


Figura 6. Diseño de la interfaz y resultado de la simulación

Tabla 1. Determinación del número de réplicas para cada máximo de cajas

Max. Cajas	70	60	55	50	40
$S_{(n')}$	567.00	649.95	479.91	390.87	669.41
n	121	138	99	86	167

Figura 7. Resultado de la comparación entre los datos simulados y reales

Welch Two Sample t-test

```
data: simulacion and datos
t = 0.70418, df = 99.745, p-value = 0.483
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-66.91668 140.55204
sample estimates:
mean of x mean of y
2495.768 2458.950
```

- **To(ij)**, tiempo total de ocio de la línea *i* de la estación *j*.
- **ToCajas**, tiempo total de ocio por falta de cajas.
- **Na(ij)**, número total de ejes atendidos en la línea *i* de la estación *j*.
- **Fn(x)**, número total de ejes liberados y colocados en un rack o caja para su embarque de la línea *x*.
- **Total Ejes**, total de los ejes liberados y colocados en un rack o caja para su embarque.
- **Retenidos**, Número total de veces que se retiene por falta de Cajas.

En la Tabla 3 se exponen las medias de las diferencias entre los tiempos de ocio por falta de cajas con los tiempos de ocio de cada una de las estaciones, es decir, los tiempos de ocio por cada estación, aun habiendo cajas disponibles.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA DEMANDA TOTAL

En la Tabla 4 se generó una comparación para obtener las diferencias entre la suma total de la lista de los resul-

tados obtenidos en la simulación y la lista de la demanda requerida para doscientas semanas laborales, en donde la suma total de la demanda requerida es de 540,176 racks.

Cuando los valores de las “diferencias entre la producción-demanda requerida” son positivos, significa que el número de ejes terminados y colocados en racks sobran y para el caso contrario, es decir cuando es negativo, faltan.

Se observó que para el caso donde el parámetro es de un máximo de 55 cajas la suma total para la demanda cumplida es de 541238, generando una diferencia total de mil sesenta y dos (1062) de racks extras, es decir, en promedio se generan aproximadamente entre cinco o seis racks adicionales para cada semana laboral, también se muestra que entre más cajas lleguen por hora, los tiempos de ocio y la retención de las máquinas disminuye considerablemente, cuando se encuentran cajas disponibles (Figura 8) o cuando no hay cajas disponibles (Figura 9), de la misma manera se ensamblan y liberan más ejes para ser empaquetados y colocados en racks (Figura 10), ayudando a la toma de decisiones para pedidos específicos.

Tabla 2. Resultados de la experimentación en el simulador para una semana laboral

Max. Cajas	40	50	55	60	70
To12	3795	2913	2516	2233	1532
To13	3969	3118	2729	2480	1786
To22	3795	2913	2516	2233	1532
To23	4015	3164	2767	2514	1810
ToCajas	3795	2913	2516	2233	1532
Na12	873	1226	1387	1508	1784
Na13	873	1225	1386	1507	1782
Na22	874	1227	1388	1508	1785
Na23	873	1226	1387	1507	1783
Fn1	841	1199	1363	1487	1768
Fn2	818	1177	1343	1469	1755
Total Ejes	1659	2375	2706	2956	3522
Retenidos	89	74	65	58	40

Tabla 3. Tiempos de ocio de las estaciones, aún con cajas disponibles para una semana laboral

Max. Cajas	To12 - ToCajas	To13 - ToCajas	To22 - ToCajas	To23 - ToCajas
40	0	175	0	220
50	0	206	0	251
55	0	213	0	251
60	0	247	0	281
70	0	254	0	278

Tabla 4. Suma total de las 200 simulaciones y la diferencia entre la suma total de los resultados obtenidos y la demanda total requerida

Máximo de cajas	70	60	55	50	40
Total de ejes	704454	591117	541238	475090	331829
Dif. entre la producción-demanda requerida	164278	50941	1062	-65086	-208347

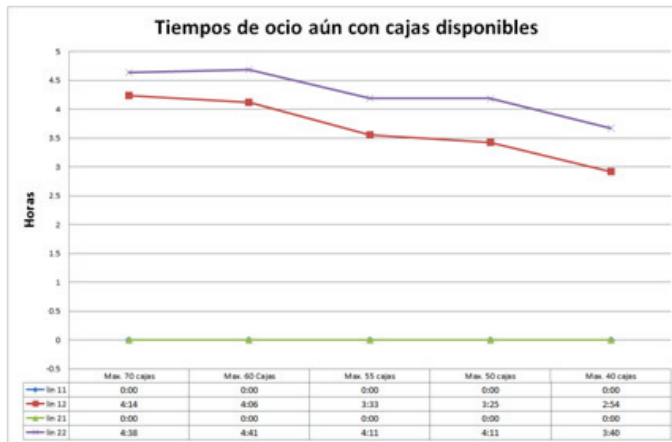


Figura 8. Media de los tiempos de ocio aun con cajas disponibles para las diferentes estaciones con su máximo número de cajas



Figura 9. Media de los tiempos de ocio sin cajas disponibles para las diferentes estaciones con su máximo número de cajas

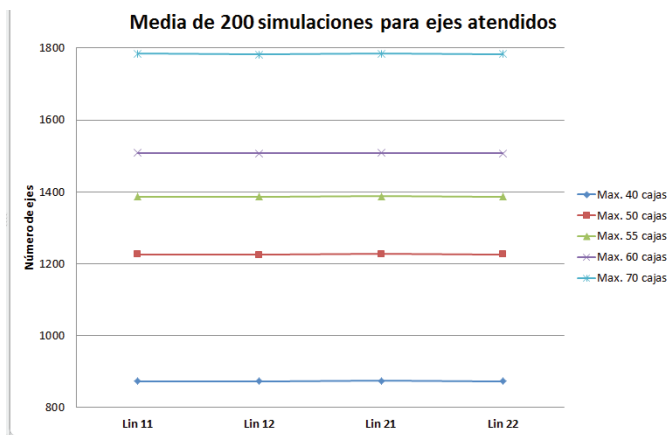


Figura 10. Media del número de atendidos para las diferentes estaciones con su máximo número de cajas

CONCLUSIONES

Con la información proporcionada por parte de la empresa, la cual se integró por: las listas de tiempos de ejecuciones para cada una de las estaciones, los tiempos de llegada de un nuevo lote de cajas, la organización de

las líneas de ensamblaje y el historial de pedidos, fue posible definir los componentes, variables (endógenas, exógenas y de estado) y parámetros del modelo, así como identificar a qué distribución se ajustan los datos, estos elementos en conjunto contribuyeron a la creación de un modelo que representa adecuadamente al siste-

ma real; posteriormente se trasladó a un lenguaje de programación para experimentar con este simulador y generar resultados para el estudio.

Con base en los resultados de las soluciones de simulación, fue posible determinar los casos en donde es conveniente solicitar un cierto número de cajas para un tiempo específico, generando mejores resultados y más eficiencia por parte de la empresa, por lo que se concluye que la simulación es útil para optimizar el proceso de manufactura de la empresa, ya que en el caso de la lista de datos de la demanda requerida semanalmente, esta se cumple cuando llegan un máximo de 55 cajas por hora, generando un exceso de producción mínimo (Tabla 4).

Por otra parte, se espera que la información de los inventarios sobre las piezas para armar los ejes sea proporcionada, ya que con base en la observación y comentarios por parte de la empresa de manufactura, la problemática abarcaba mucho más que solo la falta de cajas, por lo que se deben estudiar otros casos, uno de ellos es cuando las piezas se terminan y se tiene que esperar un tiempo para solicitar más, lo cual genera retrasos en los pedidos. Al definir un modelo de simulación para los inventarios, se posibilitaría estimar un tiempo aproximado de solicitud para nuevas piezas, al complementar el modelo de este estudio con el nuevo modelo, se estima disminuir los tiempos de ocio para las estaciones, lo que genera simulaciones más detalladas y cercanas al sistema real, planteando una nueva pregunta de investigación: ¿Es posible eliminar un turno, agregando unas horas extras a los otros dos turnos, disminuyendo así considerablemente los costos de producción?

REFERENCIAS

- Arriaza, A.J., Fernández, F., López, M.A., Muñoz, M., Pérez, S., Sánchez, A. (2008). *Estadística Básica con R y R-Commander*. Cádiz: University of Cádiz.
- Carson II J.S. (2005). Introduction to Modeling and Simulation. Orlando, FL. *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*, ISBN:0-7803-9519-0.
- Díaz, N., Jondral, A., Greinacher, S., Dornfeld, D., Lanza, G. (2013). Assessment of lean and green strategies by simulation of manufacturing systems in discrete production environments. s.l. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62(1), 475-478
- Dodero, J.M., Aburruzaga, G., Molina, D., González, J.C., Ceballos, J.A., Palomo, M., Ruiz, I.R. (2014). Universidad de Cádiz, Recuperado de <http://servicio.uca.es/softwarelibre/programas/ciencias/R>.
- ECMA. C# (2006). Language Specification. Geneva, Switzerland: ECMA International.
- Flores de la Mota, I. (2011). *Conceptos básicos de estadística para simulación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ingalls, R.G. (2011). Introduction to simulation. Phoenix, Arizona: *Winter Simulation Conference*, 978-1-4577-2109-0.
- Inzunza, S. (2013). *Simulación y modelos en la enseñanza de la probabilidad: un análisis del potencial de los applets y la hoja de cálculo*. Educación Estadística en América Latina: Tendencias y Perspectivas, Universidad Central de Venezuela, 9-29.
- Mora, L.I. y Mora, J. (2015). An adaptive algorithm for clustering cumulative probability distribution functions using the Kolmogorov-Smirnov two sample test. Málaga. *Expert System with Applications*, 42(8), 4016-4021.
- Ortiz, F. y Rojas, I. (2006). *Etapas para Desarrollar una Metodología de Sincronización Aplicando el Sistema Logístico TAC en una Planta A con Recursos Compartidos*. Buenos Aires: FIUBA-Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, 2006. 14, 41-42, 18-22.
- Pei, L., Wu, B., Junzo, W. (2010). *Integrated Uncertainty Management and Applications. Kolmogorov-Smirnov Two Sample Test with Continuous Fuzzy Data*. Tokio: Springer Berlin Heidelberg, 68. ISBN: 978-3-642-11959-0.
- Romero, N. (2012). La revolución en la toma de decisiones estadísticas: el *p*-valor. Maracaibo. *Telos*, 14(3), 439-446. ISSN: 1317-0570.
- Shannon, R.E. (2003). *Simulación de Sistemas: Diseño, desarrollo e implementación*: México: Trillas.
- Tarifa, E.E. (2005). Teoría de modelos y simulación. Introducción a la Simulación. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, 2005. Recuperado de <http://www.modeloingenieria.edu.ar/unj/tms/apuntes/>.
- Zahraee, S.M., Shariatmadari, S., Ahmadi, H.B., Hakimi, S., Shahpanah, A. (2014). Application of Design of Experiment and Computer Simulation to Improve the Color Industry Productivity: Case Study. s.l. *Jurnal Teknologi*, 68(4).