

Modelo de simulación en Flexsim del procesamiento del ala de pollo en una planta procesadora de aves

G. Bravo Báez^{1*}, F. Ortiz Flores², F. Ortiz López², J. L. Hernández Mortera², M. L. Arrijoa Rodríguez²

¹Egresado de MII, División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba, Ote.9 Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México

²División de estudio de posgrado e investigación, TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Oriente 9, número 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Ver., México

*germanbravobaez80@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente artículo muestra el desarrollo de un modelo de simulación en el software *Flexsim*® de un sistema de procesamiento de carne de pollo en una PPA. La metodología utilizada fue una adaptación de las metodologías propuestas por Chung (2004) y Law M. y Associates (2007). En el artículo se muestran los pasos que se desarrollaron para la elaboración del modelo de simulación, desde la formulación del problema hasta la validación de los resultados. El cálculo y la aplicación de pruebas estadísticas fueron herramientas de gran importancia para comprobar que el modelo fuera una representación válida del sistema de procesamiento de carne de pollo y para seleccionar la propuesta que da el mayor beneficio en la reducción del *lead time* del procesamiento de carne de pollo.

Palabras clave: *Lead time, Simulación, Flexsim, Experimenter*

Abstract

This article shows the development of a simulation model in the Flexsim® software of a chicken meat processing system in a PPA. The methodology used was an adaptation of the methodologies proposed by Chung (2004) and Law M. and Associates (2007). The article shows the steps that were developed for the development of the simulation model, from the formulation of the problem to the validation of the results. The calculation and application of statistical tests were very important tools to verify that the model was a valid representation of the chicken meat processing system and to select the proposal that would give the greatest benefit in reducing the lead time of meat processing of chicken.

Key words: *Lead time, Simulation, Flexsim, Experimenter*

Introducción

La aplicación de la técnica de simulación es de gran importancia ya que esta técnica permite conducir experimentos en un modelo computarizado. Los modelos de simulación tienen relaciones matemáticas y lógicas que permiten describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real (Bú, 2003). Con la simulación se pueden realizar experimentos que pueden conducir a la solución de problemas sin afectar al sistema real, tal es el caso del presente artículo, el cual muestra el desarrollo de un modelo de simulación, en 3D utilizando el software *Flexsim*, de un sistema de procesamiento de carne de pollo de una PPA localizada en el centro del estado de Veracruz, la cual desea reducir el tiempo de entrega (*lead time*) de uno de sus productos. Con este modelo se generaron diversas configuraciones para alcanzar el objetivo de la empresa.

Metodología

La metodología utilizada para desarrollar el modelo de simulación del procesamiento de ala en una PPA en el software *Flexsim* fue una adaptación de las metodologías propuestas por Chung (2004) y Law M. y Associates (2007). Los pasos de ésta fueron los siguientes:

1. Formulación del problema.
2. Planeación del estudio de simulación.

3. Recolección de datos para el proceso de detallado de ala.
4. Construcción del modelo de simulación.
5. Validación del modelo de simulación.
6. Experimentación con el modelo de simulación.

1. Formulación del problema.

El primer paso para el desarrollo del modelo de simulación fue definir si existían problemáticas en la PPA. Para definir las problemáticas se realizaron recorridos al área de procesamiento de la PPA y se encontró, mediante el desarrollo de un VSM, que existen procesos y actividades que no se realizan de manera eficiente lo cual genera un incremento en el *lead time* del procesamiento de ala. Las diversas problemáticas encontradas se describen en el artículo de Bravo et al. (2018). El modelo de simulación que se describe en el presente artículo sólo se enfoca en analizar si las siguientes tres problemáticas tienen efecto en la reducción del *lead time*:

- Tiempo excesivo de estancia del ala en el proceso “cámara de refrigeración”.
- El desplumado en el detallado de ala requiere mucho tiempo.
- Los cuchillos se desafilan periódicamente.

2. Planeación del estudio de simulación.

Para que el desarrollo del modelo de simulación se apegara al sistema real se realizó lo siguiente:

- 1) Se definió que el objetivo global del estudio fuera “reducir el *lead time* del procesamiento de ala”.
- 2) Se definieron las siguientes preguntas a contestar mediante el análisis del modelo de simulación:
 - a. ¿Qué tareas deben ser optimizadas en el proceso para mejorar el *lead time* del ala?
 - b. ¿Qué tareas, realizadas actualmente, pueden omitirse para mejorar el *lead time* del ala?
- 3) Se definió que la medida de desempeño a utilizar, para comparar los resultados del modelo de simulación con el sistema real, fuera el *lead time*.
- 4) Se definió que el propósito del modelo de simulación es reducir el *lead time* del procesamiento de ala dentro de la nave de procesamiento de carne de pollo.
- 5) Se definió que el marco de tiempo para toma de datos fuera de tres meses.
- 6) Se definieron dos recursos necesarios: un cronómetro para tomar tiempos y el apoyo de los trabajadores.
- 7) Se definió que el “software de simulación fuera Flexsim® ya que permite realizar un modelo en 3D (Baeaverstock et al., 2012). Con este modelo se puede tener un mejor panorama.

3. Recolección de datos para el proceso del procesamiento de ala.

Para la construcción del modelo de simulación fue necesario obtener datos relacionados con el propósito del estudio: reducción del *lead time* del procesamiento de ala. Para ello se realizó lo siguiente:

- 1) Se definieron los tipos de datos necesarios con base en la clasificación de Harrel et al. (2004): datos estructurales (material, operadores y equipo de trabajo), datos operacionales (tipo de sistema y flujo de material) y datos numéricos (tiempos, capacidades y distancias).
- 2) Se diseñó un formato para recolección de datos.
- 3) Se recolectaron los datos de los tres turnos existentes en la PPA, para ello se realizó lo siguiente:
 - Se consideraron a todos los operadores involucrados en cada etapa del procesamiento de ala y se recopilaron los tiempos en que se procesa cierto número de piezas de carne de pollo y el peso de las mismas
 - La recolección de datos se realizó de forma sistemática con un intervalo de 13 minutos para cada operador. Con el intervalo se obtuvieron 36 datos por cada operador en cada turno de ocho horas.
 - Debido a que el procesamiento de carne de pollo está dividido en tres turnos, para determinar el tiempo total de procesamiento de ala se utilizaron los datos recopilados.
 - De cada grupo de datos por proceso se seleccionaron de forma aleatoria 36 datos para utilizarlos en el modelo de simulación.
 - La recolección de los datos se realizó durante el marco de tiempo definido (tres meses).
- 4) Se capturaron los datos en un archivo de Excel para tener control y orden.
- 5) Se midieron y se tomaron fotografías de equipos y áreas de producción involucrados en el procesamiento de ala.
- 6) Se realizó un análisis estadístico para determinar a qué distribución de probabilidad se ajustaban los tiempos de cada proceso utilizando el módulo *ExpertFit®* del software Flexsim®. La Figura 1 ilustra los

resultados que proporciona *ExpertFit*®: distribución de probabilidad, el valor máximo, el valor mínimo y la representación de cómo se debe usar la distribución de probabilidad en el software *Flexsim*®.

4. Construcción del modelo de simulación.

Los pasos para la construcción del modelo de simulación fueron los siguientes:

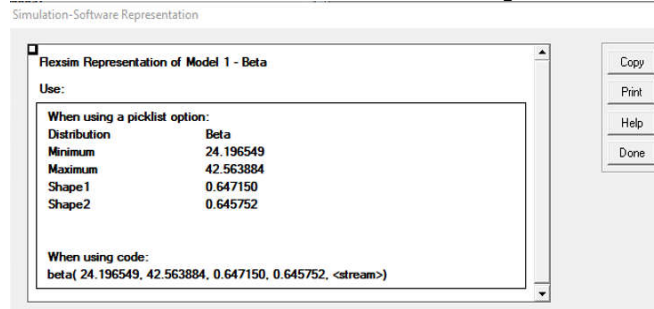


Figura 1 Representación de la distribución de probabilidad obtenida en *ExpertFit*

- 1) Se definió que el sistema a simular fuera el procesamiento del ala en la nave de procesamiento de carne de pollo. Se seleccionó todo el procesamiento del ala ya que el *lead time* de este producto abarca desde que se recibe la materia prima (pollo entero) hasta la salida del producto final en la zona de embarques. El recorrido del producto en las diferentes estaciones de trabajo se muestra en la Figura 2.
- 2) Se definieron los siguientes supuestos del modelo:
 - a. El producto objetivo por analizar sería el ala porque éste presentaba muchas problemáticas durante su procesamiento.
 - b. La cantidad de alas a ser modeladas será un lote de 20 canastillas. Para obtener 20 canastillas de ala se debe recibir al menos 70 canastillas de pollo entero (materia prima).
 - c. Los transportes de producto entre procesos se adecuarán al sistema actual: transporte por carretillas, banda transportadora o un operador cargando una canastilla de pollo.
- 3) Se verificó que el modelo conceptual de la simulación mostrado en el diagrama de recorrido (Figura 2), los tiempos y áreas de cada proceso y el equipo representarían al sistema de forma correcta. También se verificó que los supuestos del modelo fueran claros y completos.
- 4) Se construyeron diseños en 3D, en el software Sketchup, de los equipos y del área de procesamiento de carne de pollo para representar, lo más posible, a los existentes en el sistema real. Una muestra de los diseños 3D se ilustra en la Figura 3.
- 5) Se construyó el modelo de simulación realizando los pasos siguientes:
 - a. Se definieron los *Objects* y los *Flowitems* del software *Flexsim*® que, con base en sus características, representarían el funcionamiento y comportamiento real del equipo y el material en el procesamiento de ala en la nave de procesamiento de carne de pollo. Los *Objects* seleccionados representarían equipos, maquinaria, procesos, esperas, operadores, espera de lotes, la entrada y salida de material. Los *Flowitems* representarían la carne de pollo (pollo entero o ala) y los contenedores donde sería colocada la carne de pollo para su transporte dentro del proceso.
 - b. Se crearon los *Objects* y los *Flowitems* que formarían parte del modelo de simulación dentro del software *Flexsim*®.
 - c. Se importó el diseño 3D del *layout* del área de procesamiento de carne de pollo, asegurándose de que éste tuviera las dimensiones del sistema real.
 - d. Se modificó la apariencia de los *Objects* y los *Flowitems* con los diseños 3D realizados, se ajustaron sus dimensiones para que representaran al sistema real y se ajustaron sus nombres para identificarlos.
 - e. Se realizaron conexiones de los *Objects* dentro del modelo de simulación basados en el flujo de la Figura 2.
 - f. Se realizó la programación del modelo que consistió en colocar en los *Objects* las distribuciones de probabilidad obtenidas en el análisis estadístico de los tiempos, modificar las capacidades de los *Objects*, programar los recursos móviles para que transporten *Flowitems* en cantidad y velocidad adecuada y, programar paros de procesamiento.

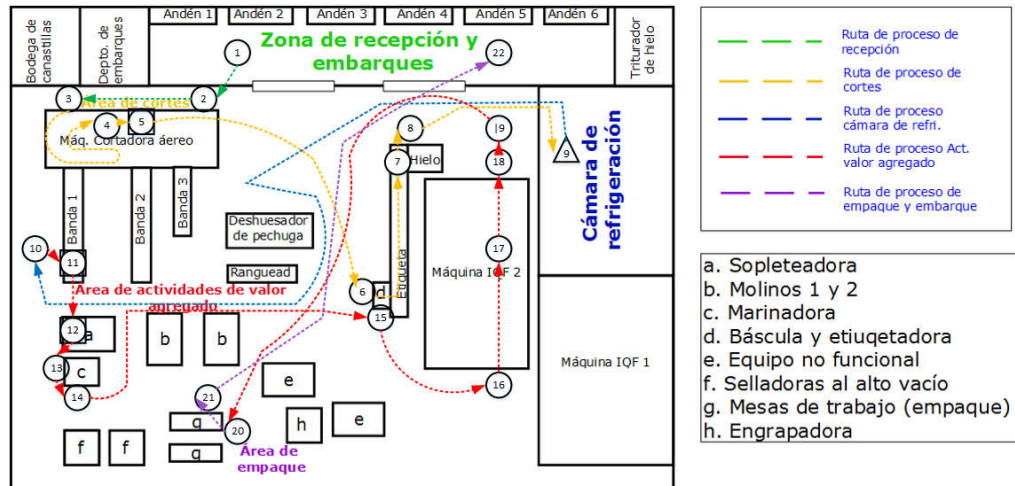


Figura 2 Flujo de procesos y recorrido de material del procesamiento de ala.

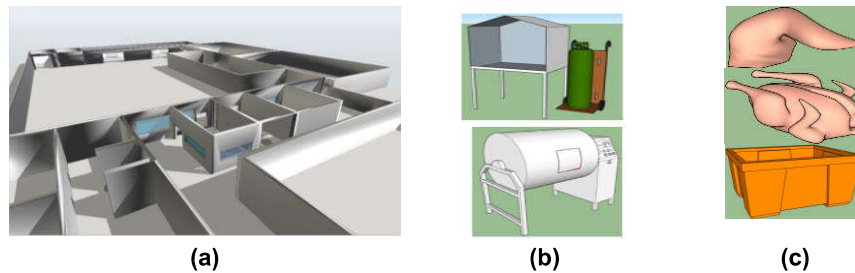


Figura 3. Diseños 3D de los elementos para el procesamiento de ala. a) Layout interno de la nave de procesamiento de pollo. b) Equipos de procesamiento de pollo c) Materiales que fluyen en el proceso.

- 6) Se verificó el modelo de simulación, observando y analizando de que éste se comportara igual que el proceso del ala. Se verificaron los nombres, capacidades, localizaciones, posiciones, distribuciones de probabilidad, entradas y salidas de los *Flexsim Objects*. Asimismo, se verificó el flujo, la forma y el tamaño de los *Flowitems*, además de los recorridos y capacidades de los *Objects* de transporte. Una vez que todo concordaba con el sistema real, se concluyó que el modelo representaba de manera adecuada al sistema de procesamiento de ala. La Figura 4 muestra el modelo de simulación construido en el software Flexsim® del área de procesamiento de carne de pollo de la PPA.



Figura 4 Modelo de simulación de la PPA construido en Flexsim®.

5. Validación del modelo de simulación.

Para la validación fue importante determinar la prueba estadística apropiada para comprobar las medias de la medida de desempeño obtenidas. Los pasos para realizar la validación del modelo fueron los siguientes:

- Se definió que la medida de desempeño sería el *lead time* del procesamiento de ala, y que esta medida se utilizaría como medio de comparación del modelo de simulación con el sistema real.

- 2) Se definió el número óptimo de corridas del modelo. Con base en Chung (2004), se definieron 10 corridas piloto con un nivel de confianza $(1-\alpha)$ del 95%. De las corridas piloto se obtuvieron los resultados de la Tabla 1. Posteriormente, utilizando la Ecuación 1 y los valores de la Tabla 1 se determinó que el número de corridas optimas sería 14, incrementando i (*número de corridas*), en uno, hasta que se cumplió la Ecuación 2. La Tabla 2 muestra los resultados de los incrementos hasta que cumple la Ecuación 2.

Tabla 1 Resultados de la media, varianza y β de las corridas piloto

Estadístico	Valor
μ	44941.52
S	1190.67
S²	1417697.29
5%=β=	2247.08

$$n * (\beta) = \min \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \dots \dots \dots (1)$$

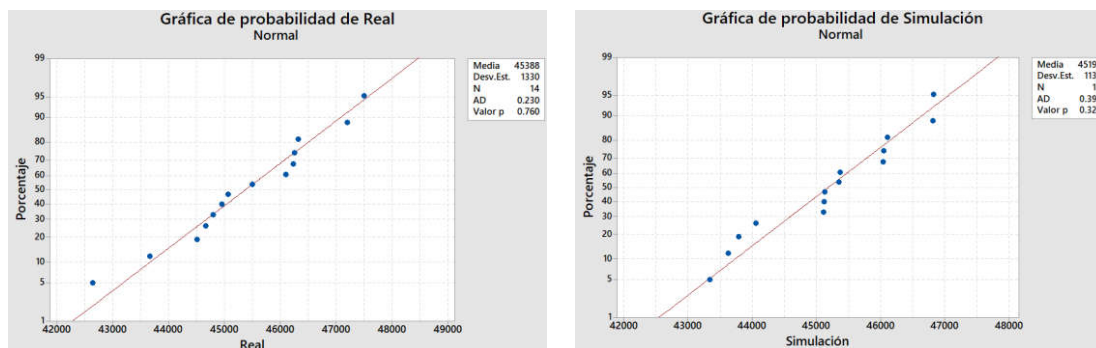
$$t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \dots \dots \dots (2)$$

- Donde:
- i = Número óptimo de corridas
 - β = Error absoluto
 - α = Nivel de significancia
 - $1 - \alpha$ = Nivel de confianza
 - S^2_n = Varianza de las corridas piloto de la medida de desempeño de interés
 - t = Valor de tablas de la distribución *t-student*
 - n = Número de corridas piloto

Tabla 2 Validación de la ecuación 2

i	$t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}}$	comparación	$\leq \beta$
13	2275.2936	>	2247.08
14	2174.01184	<	2247.08
15	2085.12899	<	2247.08

- 3) Se verificó que el número de datos de la medida de desempeño (*lead time*) del sistema real (m) y del modelo de simulación (n) fueran iguales ($m=n$) para comprobar si tienen un comportamiento normal. En el caso del presente proyecto se cumplía esta condición ($14=14$).
- 4) Se examinó la normalidad de los datos del sistema real y del modelo de simulación utilizando el software estadístico Minitab® con un nivel de significancia (α) del 5%. En la Figura 5a y 5b se muestran los gráficos obtenidos del análisis, en ambos casos (Figura 5a y 5b) se puede observar que el valor p supera el nivel de significancia ($p > 0.05$), por lo que se puede inferir que hay normalidad para ambos conjuntos de datos.



a) Gráfica del sistema real

b) Gráfica del modelo de simulación

Figura 5 Gráficos del análisis de normalidad de los datos.

- 5) Se validó el modelo de simulación aplicando la prueba *t-student*, debido a que, para ambos casos, el tamaño de muestra es menor a 30 y los datos presentaban un comportamiento normal. Los pasos para validar el modelo de simulación fueron los siguientes:
- Obtener los estadísticos de ambos conjuntos de datos.
 - Plantear la hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_1).
 - H_0 : No existe una diferencia significativa entre la media del grupo de datos del sistema real y la media del grupo de datos de la simulación.
 - H_1 : Existe una diferencia significativa entre la media del grupo de datos del sistema real y la media del grupo de datos de la simulación.
 - Determinar el nivel de significancia ($\alpha=5\%$).
 - Determinar los grados de libertad (Ecuación 3)

$$n_1 + n_2 - 2 \dots \dots \dots (3)$$

- Determinar el valor crítico $t_{\alpha/2, \text{grados de libertad}}$ usando tablas.
- Calcular el estadístico de la prueba *t-student* de acuerdo con la Ecuación 4.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

- t = Estadístico de prueba calculado.
- \bar{x}_1 = Media de la primera alternativa.
- \bar{x}_2 = Media de la segunda alternativa.
- S_1^2 = Varianza de la primera alternativa.
- S_2^2 = Varianza de la segunda alternativa.
- n_1 = Número de datos de la primera alternativa.
- n_2 = Número de datos de la segunda alternativa.

Los resultados de los pasos a, c, d, e y f se muestran en la Tabla 3, de ella se puede concluir que el valor t no supera al valor crítico, por lo que se encuentra dentro del rango de no rechazo de la hipótesis nula (H_0). Con base en lo anterior, se concluye que el modelo de simulación es una representación válida del sistema real.

Tabla 3 Cálculo de estadísticos de la prueba *t-student*

	Real	Simulación
Media	45387.82	45195.29
Varianza	1769768.398	1289369.75
Desv estándar	1330.33	1135.50
n	14	14
Grados de libertad	13	13
Valor t	0.412	
Valor crítico	2.056	

6.Experimentación con el modelo de simulación.

Una vez validado el modelo de simulación se realizó la experimentación, para ello se definió que el número de corridas sería de 14 y la longitud de cada corrida sería de 50,000 segundos (13.8 horas). Para definir las alternativas de experimentación se puntualizaron las siguientes observaciones del procesamiento de ala:

- El proceso “cámara de refrigeración” tiene un tiempo de almacenamiento de producto de 8 a 24 horas, por lo tanto, este proceso no genera valor al producto; sólo es una etapa de almacenamiento.
- En el proceso “detallado de ala” se observó que se detiene el proceso al realizar el afilado de cuchillos y no agrega valor al producto, además, la actividad de desplumado requiere demasiado tiempo y no se realiza de manera correcta.

Con base en estas observaciones y en las tres problemáticas planteadas en la formulación del problema se generaron las siguientes configuraciones enfocadas en reducir el *lead time* del ala:

1. Omitir el proceso cámara de refrigeración. Para elaborar esta configuración se realizó lo siguiente:
 - a. Realizar un diagrama del nuevo flujo del modelo omitiendo el proceso cámara de refrigeración para tener una referencia del cambio a realizar en el modelo de simulación.
 - b. Cambiar el flujo en el modelo de simulación con base en el diagrama del nuevo flujo, de esta forma el flujo iría del proceso de cortes hacia el proceso de valor agregado omitiendo la cámara de refrigeración.
 - c. Realizar corridas de prueba para verificar que las nuevas conexiones se realizaron de manera correcta y que el producto y los operadores siguieran la ruta propuesta.
 - d. Realizar las 14 corridas de simulación por medio del uso de *Experimenter* (herramienta dentro de *Flexsim*) y se registraron los tiempos obtenidos.
2. Omitir el tiempo de desplumado y afilado de cuchillos en el detallado de ala. Para elaborar esta configuración se realizó lo siguiente:
 - a. Omitir el tiempo de desplumado y generar la nueva distribución de probabilidad, para el proceso de detallado de ala, utilizando *Expertfit*.
 - b. Insertar la nueva distribución de probabilidad en los Objects destinados a realizar el proceso de detallado de ala.
 - c. Quitar el tiempo de paro por afilado de cuchillos eliminando de la programación realizada los códigos que ejecutan la acción de paro en los Objects.
 - d. Realizar corridas de prueba para corroborar que los Objects funcionaran correctamente con la programación realizada para la configuración.
 - e. Realizar 14 corridas de simulación utilizando *Experimenter*, y registrando los tiempos obtenidos.
3. Combinación de las alternativas 1 y 2. Para programar esta configuración se realizó lo siguiente:
 - a. Se ajustó la programación para que el modelo omitiera el proceso “cámara de refrigeración” y los tiempos de desplumado y afilado de cuchillos en el detallado de ala.
 - b. Realizar corridas de prueba para corroborar que las rutas, el flujo de los Flowitems y los Objects funcionaran correctamente con la programación realizada.
 - c. Realizar 14 corridas de simulación utilizando la herramienta *Experimenter*, y registrando los tiempos obtenidos.

Resultados y discusión

Finalizada la experimentación con el modelo de simulación del sistema actual y los modelos de las configuraciones propuestas, se realizó la comparación del promedio del *lead time* de cada configuración contra el sistema actual y, con base en esto, se pudo calcular el ahorro obtenido en tiempo y en porcentaje (Tabla 4). De la Tabla 4 se pudo concluir que las configuraciones que otorgan el mayor beneficio en la reducción del *lead time* son las configuraciones 1 y 3. La figura 6 muestra una gráfica de barras de las medias obtenidas para que las personas involucradas en el proyecto pudieran interpretar los resultados de formas fácil.

Mediante el desarrollo del modelo de simulación se pudo representar el procesamiento de ala en una PPA. La recolección, análisis e interpretación de información permitieron conocer el comportamiento y el funcionamiento del procesamiento de carne de pollo en el área de producción. Con la elaboración de los modelos en 3D del área de procesamiento y los elementos que conforman el sistema se obtuvo una representación más apegada al sistema real. La construcción y la programación del modelo de simulación permitieron tener un panorama general de la situación real, además, permitieron realizar modificaciones y experimentaciones con el modelo si afectar al sistema real. Las configuraciones propuestas del modelo de simulación fueron realizadas mediante la observación del sistema real y el modelo de simulación y, así, se determinaron los procesos y actividades que generaban más problemáticas y que no agregaban valor al producto. Con base en los resultados obtenidos de las experimentaciones del modelo se determinó que las configuraciones propuestas 1 y 3, proporcionan el mayor beneficio en la reducción del *lead time*.

Tabla 4 Comparación de las medias del *lead time* del sistema actual contra las configuraciones

	Sistema actual	Configuración 1	Configuración 2	Configuración 3
Media (seg)	44877.83	14692.25	44659.32	14473.74
Media (hr)	12.47	4.08	12.41	4.02
Ahorro de tiempo (seg.)	0	30,185.58	218.51	30,404.10
Ahorro de tiempo (hr)	0	8.38	0.06	8.45
Porcentaje media	100%	32.74%	99.51%	32.25%

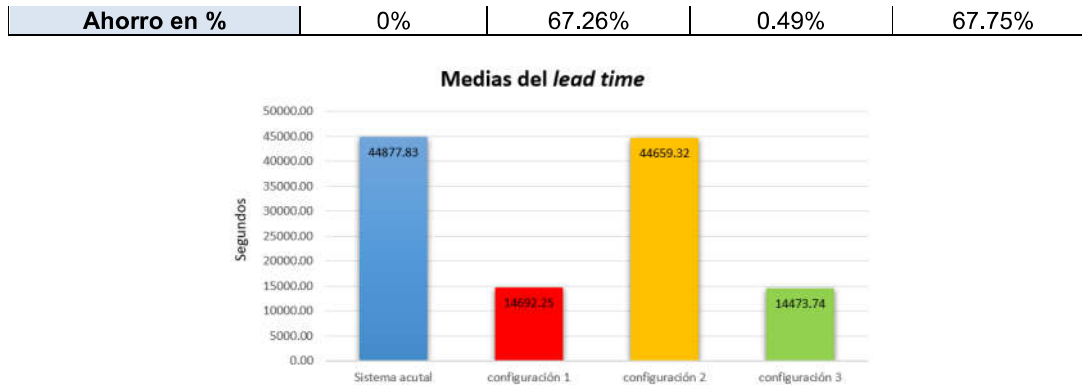


Figura 6 Gráfica de barras de las medias en segundos del lead time del sistema real y de las configuraciones propuestas.

Trabajo a futuro

El presente trabajo mostró como el desarrollo de un modelo de simulación sirvió como herramienta para generar propuestas de mejora en un área de producción de una PPA. El modelo de simulación realizado permitió tener una visión más amplia del procesamiento de carne de pollo. Con base en eso se generaron propuestas para la disminución del *lead time* del procesamiento de ala y se pudo determinar que configuración propuesta era la que proporciona el mayor beneficio. Para complementar la investigación realizada en el presente trabajo se proponen los siguientes trabajos futuros:

- Diseñar alternativas de programación de la producción que permitan omitir el proceso “cámara de refrigeración” ya que esta etapa es extensa y causa un incremento en el *lead time*.
- Realización de un estudio de métodos para la optimización de las actividades.
- Implementar SLP (*Systematic Layout Planning*) para determinar una distribución que aproveche el espacio y mejore el flujo de producción.

Conclusión

El desarrollo de un modelo de simulación, junto con la realización de cálculos y pruebas estadísticas, permitieron generar propuestas que disminuyeran el *lead time* del procesamiento de ala en una PPA. Con la simulación se pudo representar al sistema real, desde la elaboración del entorno en el que se encuentra el sistema de procesamiento de carne hasta el comportamiento de las etapas de procesamiento, asimismo, se pudo realizar modificaciones al modelo sin afectar al sistema real. Los cálculos y pruebas estadísticas fueron una herramienta que permitieron demostrar matemáticamente si el modelo de simulación era una representación válida del sistema real. Mediante la observación del proceso y del modelo de simulación se determinó en qué etapas del procesamiento de pollo se presentaban problemáticas o retrasos en la producción. En resumen, la aplicación en conjunto de la simulación con las pruebas estadísticas y el análisis del proceso, fueron de utilidad para generar propuestas de configuraciones para el modelo y validar si cada una de ellas otorgaba un beneficio considerable en la reducción del *lead time*.

Fuentes de información

- 1.- Baeaverstock, M., Greenwood, A., & Nordgren, W. (2012). *Applied Simulation: Modeling and Analysis using FlexSim*. Orem, USA: FlexSim software products.
- 2.- Bravo, G., Ortiz, F., & Hernandez, J. L. (2018). Determinación de área de oportunidad, en una PPA del centro del estado de Veracruz, aplicando Value Stream Mapping. *Journal CIM*, Volumen 6.
- 3.- Bú, R. C. (2003). *Simulación: un enfoque práctico*. México, D.F.: Editorial Lumusa.
- 4.- Chung, C. A. (2004). *Simulation Modeling Handbook a Practical Approach*. Washington, D.C.: CRC PRESS.
- 5.- Harrel, Ghosh, Biman, K., Bowden, & Royce, O. (2004). *Simulation using Promodel*. USA: Mc Graw Hill.
- 6.- Law M., A., & Associates, I. (2007). *Simulation Modeling And Analysis* (Fourth ed.). Tucson, Arizona, USA: Mc Graw Hill.