

Evaluación de una línea de producción cárnica mediante simulación en SIMIO

M. Hernández Bonilla^{1*}, C. G. Moras Sánchez¹, G. Cortés Robles¹, A. A. Aguilar Lasserre¹, C. E. Argüelles Téllez¹

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba, Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación, Oriente 9, Emiliano Zapata sur, C. P. 94330, Orizaba, Veracruz, México.

[*marisolbonilla0593@gmail.com](mailto:marisolbonilla0593@gmail.com)

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El modelado y la simulación tradicionalmente han formado parte sustancial del juego de herramientas utilizadas para el soporte a la toma de decisiones, especialmente en la planificación estratégica. La presente investigación desarrolla la aplicación de la técnica de simulación en una línea de producción de salchichas. Por medio de eventos discretos se emplean distribuciones continuas, estadística inferencial y diseño de experimentos en apoyo a la metodología de simulación. Esta técnica es aprobada por estándares internacionales para reducir el sesgo entre sistemas reales contra los simulados. Mediante el software SIMIO se modeló el sistema actual de trabajo en una empresa cárnica, con el objetivo de evaluar los indicadores de desempeño de cada equipo dinámico que conforman la línea de producción, identificar cuellos de botella y presentar cuantitativamente la alternativa propuesta por la empresa para plantear opciones atractivas que optimicen el proceso de fabricación de la salchicha.

Palabras clave: Simulación en SIMIO, Estadística inferencial, Toma de decisiones, Productividad.

Abstract

Modeling and simulation have traditionally been a substantial part of the toolkit used to support decision-making, especially in strategic planning. The present investigation develops the application of the simulation technique in a sausage production line. Using discrete events, continuous distributions, inferential statistics and design of experiments are used in support of the simulation methodology. This technique is approved by international standards to reduce the bias between real systems against simulated ones. Using the SIMIO software, the current work system in a meat company is modeled, with the aim of evaluating the performance indicators of each dynamic team that make up the production line, identifying bottlenecks and present quantitatively the proposed alternative by the company to propose attractive options that optimize the sausage manufacturing process.

Key words: Simulation in SIMIO, Inferential Statistics, Decision Making, Productivity.

Introducción

De acuerdo con el consultor Gira N. Beaumont [1], la evolución y pronóstico del consumo de carne entre 2010 y 2020 se espera que tenga un crecimiento de un 1.6% anual, mientras que con los datos de INEGI [2] a nivel mundial, México ocupa el 7º lugar en producción de carne de las tres principales proteínas consumidas en el mundo. Los estudios realizados por SADER y SIAP informan [3] que el sureste aportó el 44.6% de producto al volumen nacional cárnico.

En esta investigación se muestra una perspectiva clara sobre el valor añadido que ofrece la simulación para incrementar la productividad de cualquier proceso industrial [4]. En la actualidad, con base en el conocimiento del personal las empresas desarrollan sistemas de inteligencia [5] que colaboran a los procesos de toma de decisiones [6]. La simulación permite plantear, así como evaluar problemas complejos [7] con la finalidad de comparar cuantitativamente posibles alternativas [8] que generen una solución confiable bajo entornos multicriterio y con un tiempo de resolución razonable [9]. La literatura presenta un caso de estudio en una empresa

cárnica de Bogotá Colombia [10], donde se determinó el 70% de las causas que generan los efectos negativos en su proceso por medio de la simulación y herramientas de lean manufacturing [11] se probaron distintas soluciones en corto tiempo, sin interrumpir el proceso de producción y a un bajo costo. Se han generado propuestas de plan y diseño de instalaciones en empresas cárnicas que minimizan cuellos de botella, optimizan la mano de obra, los riesgos para la salud y el aumento de la seguridad del recurso humano [12]. Algunos estudios recomiendan unir la técnica de simulación con otras herramientas de innovación [13], con la finalidad de generar ideas y soluciones innovadoras para resolver problemas tecnológicos en distintos sectores [14], es así como las herramientas: la voz del cliente VOC, Despliegue de la Función de la Calidad (QFD) y TRIZ han brindado alternativas para desarrollar sistemas y resolver problemas [15].

En la presente investigación se realiza un análisis de las áreas involucradas en una línea de producción de salchichas, la cual incorpora el uso de la simulación de eventos discretos mediante el software SIMIO como herramienta de apoyo en la toma de decisiones. En la búsqueda de plantear soluciones a partir de la evaluación de su sistema actual de producción, se espera minimizar tiempos y cuellos de botella en su proceso. Al aplicar la metodología de simulación y sus herramientas de ingeniería industrial sugeridas por Law and Kelton [16], investigaciones previas [17, 18, 19] y cursos de capacitación impartidos en el Tecnológico Nacional de México [20], se desea obtener tiempos de procesamiento, porcentajes de utilización de cada área, además del impacto generado al producto terminado al realizar modificaciones en la línea de producción de salchichas, con el propósito de mejorar su productividad al comparar una alternativa propuesta por la empresa y plantear alternativas atractivas que mejoren los procesos de fabricación de la salchicha.

Metodología

La problemática de este estudio, inició cuando la empresa cárnica presentó problemas en la entrega de sus productos, lo cual originó considerar la adquisición de maquinaria más eficiente en el área de hornos e incorporar una segunda peladora a su proceso. Lo que trajo como consecuencia la contratación de personal en el área de pelado, ya que en gran medida las operaciones son manuales de manera que requieren más operarios para agilizar el proceso de separación y traslado de la salchicha a la etapa de empaquetado. De esta forma se evitó que los tiempos muertos de producción se extendieran. La empresa solicitó a la brevedad posible la evaluación de su línea de producción, para conocer los cuellos de botella que estaban ocasionando retrasos y pérdidas en su proceso. Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la metodología de simulación propuesta por Law and Kelton [16], la cual consistió en 10 pasos como se puede observar en la figura 1. Posteriormente se plantearon escenarios con la maquinaria disponible en la empresa para evaluar y comparar alternativas sin comprometer la producción de la línea.

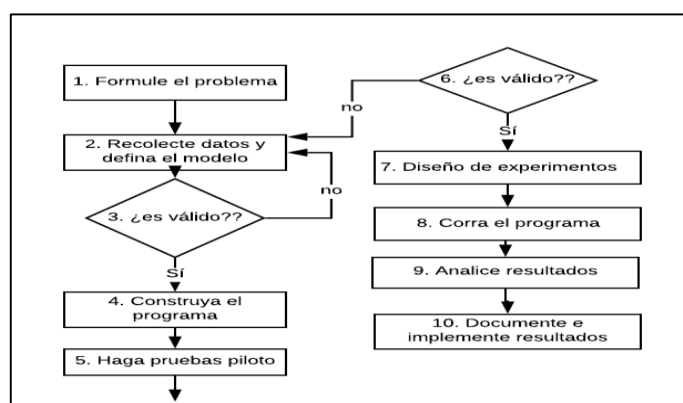


Figura 1.- Metodología de simulación. Fuente: [16].

Formulación del problema

Se definieron los objetivos del problema [21] y de acuerdo a los registros de producción de la empresa cárnica, existen seis líneas de producción de embutido [22]. La línea donde se realizó esta investigación es la que produce salchichas tipo Viena (Figura 2), la cual generó aproximadamente el 35% de las ganancias para la compañía cárnica [23]. Por consiguiente el desarrollo de este proyecto, se enfocó en la línea número tres correspondiente al producto antes mencionado donde se detectó una variabilidad significativa en el proceso, incumplimiento en la producción planeada y actividades que no agregan valor al producto.

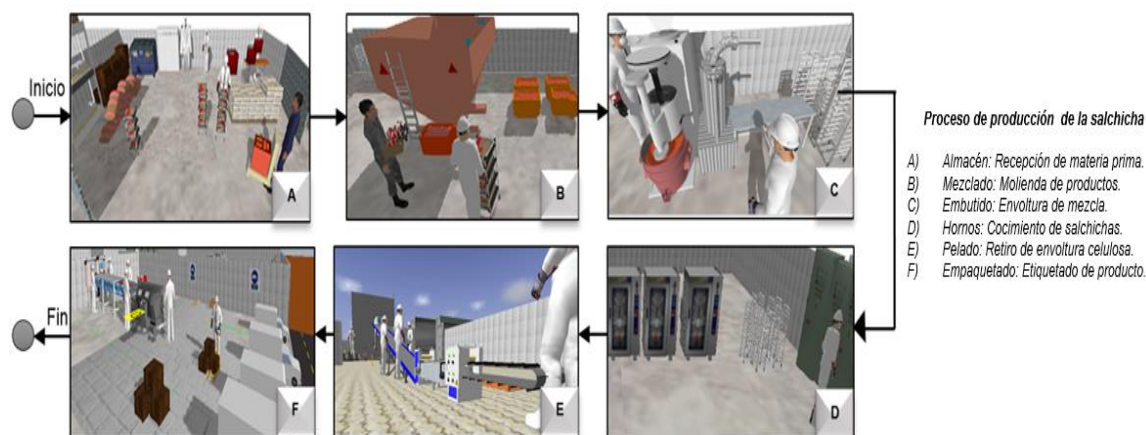


Figura 2.- Proceso de producción de la salchicha Viena. Fuente: [22].

Recolección de datos

Para la recolección de información de este estudio se designó un periodo de cinco meses aproximadamente. Mediante la observación de cada célula de trabajo que compone la línea de producción, se logró obtener los tiempos de servicio de cada máquina, el número de lotes, número de salchichas, paquetes, pallets y operarios de cada área que integra el proceso de fabricación de salchichas. Cabe destacar que de la información recolectada sólo se tomaron los datos que correspondían a cuatro toneladas, ya que el 60% de la producción diaria es de cuatro toneladas de materia prima. Todos los registros fueron aprobados por el ingeniero en producción [23]. Finalmente se observó que el proceso de producción en su totalidad duró entre 12 y 12.30 horas, esto debido a que no se tiene una consistencia en el proceso de pelado de las salchichas y por tal motivo no se cuenta con una hora exacta de terminación.

Análisis estadístico de los datos recolectados del sistema

Se realizaron una serie de pruebas, de manera que se pudieran cotejar los comportamientos de los modelos y su semejanza con la realidad [24]. Para el análisis estadístico de los tiempos de servicio registrados de cada máquina, se utilizó el software Stat: Fit. Mediante esta herramienta fue posible la aplicación de las pruebas de bondad de ajuste Chi-Cuadrada y Kolmogorov-Smirnov a todos los datos que fueron recolectados con un nivel de significancia de 0.05. La línea de producción de salchichas consideró las siguientes áreas: mezclado, embutido, hornos, pelado y empaquetado de las cuales tres no se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas y por lo tanto se procedió a elaborar diferentes distribuciones empíricas que se ajustarán a los datos de las áreas anteriormente mencionadas [21, 24].

Medidas de desempeño evaluadas

Para poder analizar el estado actual del sistema [25], se definieron y evaluaron algunas medidas de desempeño las cuales fueron: el porcentaje de utilización, tiempo de procesamiento de las diferentes áreas y el impacto que se obtuvo en producto terminado, dado en número de pallets¹ manufacturados.

Construcción de los programas de simulación

Una vez que se verificaron estadísticamente los datos reales, se construyeron dos modelos de simulación en el software SIMIO, cuyas características aparecen en la Tabla 1. El primer modelo representó el estado actual del proceso de producción de salchichas, el cual consistió en procesar cuatro toneladas de pasta que generó un total de 16 carritos, que fueron distribuidos en dos hornos con capacidad de ocho carritos cada uno (2/8). El segundo modelo representó la alternativa propuesta por la empresa, modificaciones que se pueden observar para el área de hornos (5/3), es decir, cinco hornos con capacidad de tres carritos cada uno, cabe destacar que entre todos los carritos, se encontraban distribuidas las cuatro toneladas procesadas. Para el área de pelado, la empresa solicitó que se evaluara la alternativa con dos peladoras. Posteriormente se realizó una comparación de los indicadores de desempeño para visualizar si realmente existió mejora que incrementará la productividad de la empresa.

¹ Pallet: Elemento utilizado para el transporte, almacenamiento, manipulación y agrupamiento de todo tipo de cargas presentes en la industria" (Slogo-Pasqualini, 2016).

Tabla 1.- Características de los modelos elaborados en Simio. Fuente: [23].

Modelos de simulación/SIMIO		
Máquina	Actual	Alternativa
	Cantidad	Cantidad
Mezcladora	1	1
Embutido	1	1
Hornos/carritos	2/8	5/3
Pelado	1	2
Empaquetado	1	1

En la Figura 3 se muestra una vista en 3D de los dos modelos realizados en SIMIO. En las dos primeras imágenes se puede visualizar la planta cárnica actual vs la alternativa, posteriormente las áreas donde se realizaron cambios. En el área de hornos del modelo actual se tiene la cantidad de dos hornos con capacidad de ocho carritos (2/8), en la alternativa se considera la cantidad de cinco hornos con capacidad de tres carritos (5/3). Para el área de pelado se observa una peladora para la línea actual, cotejada con dos peladoras de la alternativa propuesta por la empresa.

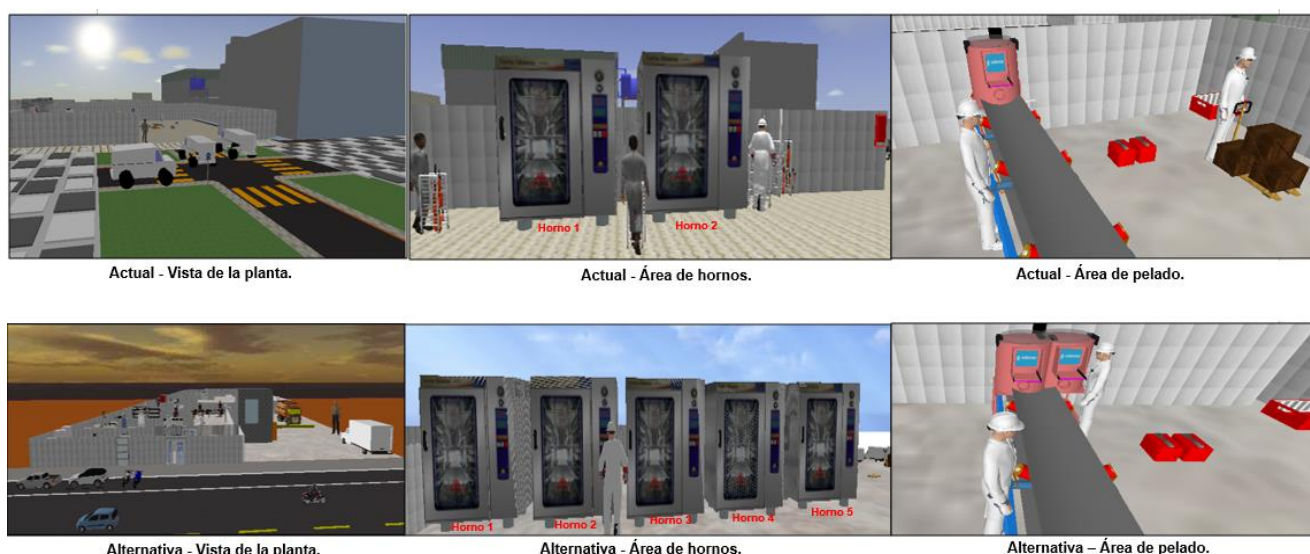


Figura 3.- Representación de las áreas simuladas de la empresa (Actual vs Alternativa). Fuente: [22].

Validación del programa de simulación

En este paso se buscó realizar pruebas experimentales para cotejar si el modelo fue una representación fidedigna o semejante del sistema real, esto se hace mediante la comparación de la información de salida del modelo o resultados obtenidos de la simulación previa contra los datos observados reales [26]. Para la validación de los resultados reportados por el programa de simulación se aplicó la prueba t-apareada con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$, a tres medidas de desempeño: tiempo de procesamiento, porcentaje de utilización y número de pallets manufacturados. Para la validación del modelo se consideraron 30 corridas piloto.

Al aplicar la prueba t-apareada se obtuvieron intervalos de confianza que incluían al cero, de tal manera que no se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, se aceptó como válido el modelo de simulación.

Diseño de experimentos

Para que fueran realizados los experimentos en la simulación, fue necesario encontrar el número óptimo de corridas del modelo. Para poder calcular el número óptimo de corridas se usaron los datos obtenidos de las corridas piloto (N=30) realizados en el modelo de simulación, los cuales usaron diferentes valores para el stream, asegurando la intervención de diferentes números pseudo-aleatorios en cada corrida.

A continuación se muestra la fórmula que se aplicó para calcular el número óptimo de corridas:

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

Donde:
i= Aumento en uno del número de corridas.
n=Cantidad de datos obtenidos en las corridas piloto.
t= estadístico t de Student.
S²= Varianza muestral.
β= Error Absoluto.

De acuerdo con el libro “Simulación, métodos y aplicaciones” [27], para el cálculo del número óptimo de corridas se recomendó iniciar con un valor para el error absoluto β del 5% para cada medida de desempeño o variable de interés, con la finalidad de asegurar que el valor de β fuera menor que la desviación estándar calculada. Para calcular el número de corridas óptimas se estableció un nivel de confianza del 90%. Los resultados del cálculo del número óptimo de corridas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Número de corridas óptimo para cada variable de interés. Fuente: [22].

	Embutido		Horno 1		Horno 2		Pelado	
	Tiempo de procesamiento	% Utilización	Tiempo de procesamiento	% Utilización	Tiempo de procesamiento	% Utilización	Tiempo Procesamiento	% Utilización
# ÓPTIMO CORRIDAS	30	30	30	30	30	30	33	33

Conforme al número óptimo de corridas obtenidas se escogió el número máximo para establecerlo en todas las medidas de desempeño a analizar. En la tabla anterior se muestra el número óptimo de corridas, donde el mayor valor es 33, por lo que se escogió dicho número para todos los indicadores clave de desempeño.

Para el análisis de la línea de producción de salchichas, fue necesario delimitar las células de trabajo de interés y los indicadores de desempeño. De acuerdo al problema de estudio, se analizaron los siguientes indicadores de desempeño: tiempo promedio de procesamiento, porcentaje promedio de utilización por día y en base a esa información se delimitaron si existieron cuellos de botella en el equipo dinámico que integra la línea de producción cárnica, como el impacto a producto terminado dado en número de pallets. Cabe destacar que para la recolección de las muestras, se realizó con la ayuda del ingeniero en producción eliminando las células de trabajo de mezclado y empaquetado, ya que tenían un tiempo estándar en su servicio. Las células que se evaluaron fueron las siguientes: embutido, hornos y pelado.

Resultados y discusión

Una medida parcial de la productividad con respecto al rendimiento en función del tiempo, es uno de los índices de productividad parcial más utilizados para medir el trabajo en las empresas [28]. Después de realizar el diseño de experimentos, se corrió el modelo actual y el propuesto 33 veces. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para el modelo actual y para la alternativa propuesta por la empresa. En la sección de embutidos se tuvo una mejora en el tiempo de procesamiento de un 18% en comparación con la línea de producción actual. Cabe destacar que aunque el porcentaje de utilización del equipo fue reducido de 14.34% a 13.41%, es compensado con el tiempo en el que se realiza el procesamiento de las cuatro toneladas.

Para el área de hornos se obtuvieron excelentes resultados, ya que se vio beneficiado el porcentaje de utilización de 1.30% a 14.64% con un decremento del 50% en su tiempo de procesamiento de las cuatro toneladas procesadas por 15 carritos. Esto se debe a que la capacidad de hornos al ser menor, el vapor generado es distribuido a mayor velocidad entre todos los carritos y por lo tanto, aunque se trabaje a la misma temperatura que se emplea en la línea actual, se lograría en un tiempo menor hornear los 15 carritos de salchichas tipo Viena sin afectar las características organolépticas de la salchicha, por esta razón es que los hornos de menor capacidad ofrecen una ventaja mecánica, en la cual se pueden procesar carritos con un poco más de producto a un tiempo menor. De acuerdo a los resultados de este estudio y la simulación mediante SIMIO, fue de gran ventaja que la empresa considere cambiar los hornos de mayor capacidad por unos de menor capacidad para poder incrementar su producción y reducir los tiempos de entrega.

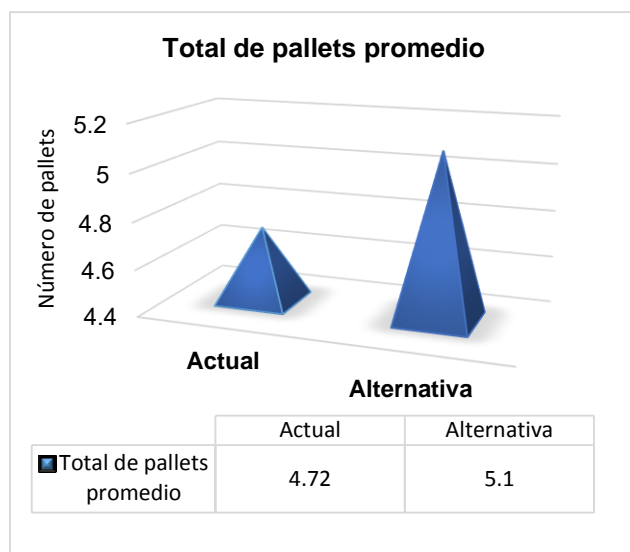
Para el área de pelado en el sistema actual se obtuvo un porcentaje de utilización de 36.40% que a simple vista es bueno y no es necesario considerar una segunda peladora, ya que se tendría una sobrecapacidad de

producción y un bajo volumen de producto que afectaría al porcentaje de utilización de la maquinaria a un 18.59 %. El tiempo de procesamiento de la alternativa disminuyó casi a la mitad, lo cual es muy bueno pero no necesariamente el valor óptimo. Por lo tanto, es evidente que existe un cuello de botella que no está relacionado con el equipo dinámico, sino con las actividades manuales posteriores al retiro de la funda plastificada que están involucradas en el desempeño de esta célula de trabajo. Se recomienda a la empresa profundizar más el área de pelado para conocer las causas operacionales que generan demoras en esa estación de trabajo. Posteriormente es necesario realizar la evaluación mediante un modelo en SIMIO con la finalidad de conocer el desempeño que se obtendría al profundizar las actividades involucradas, la incorporación de los cinco hornos y la consideración de una peladora en la línea de salchichas tipo Viena. Puesto que cuando se realizó la evaluación del equipo dinámico el porcentaje de utilización fue bajo y no es necesario por el momento incorporar una peladora adicional a la que ya se encuentra en la línea.

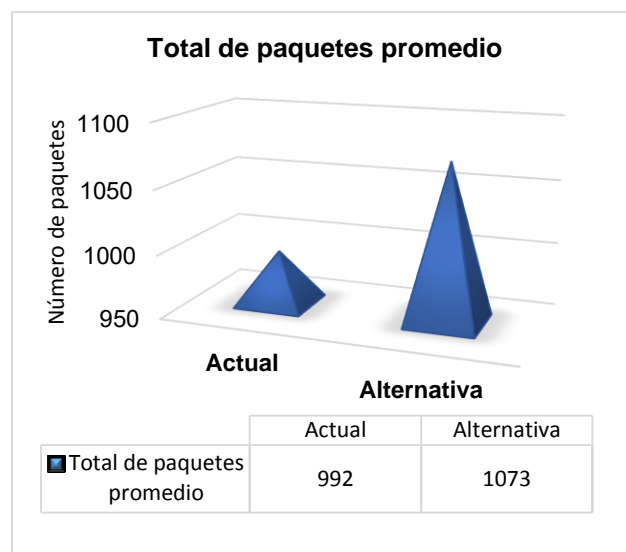
Finalmente, se puede observar en la Gráfica 1 el impacto positivo al producto terminado de 9% aproximadamente, se debe considerar que cada pallet está compuesto por 42 cajas con 5 paquetes cada una, por lo que se tiene en promedio la cantidad de 992 para el modelo actual contra la alternativa que tiene en promedio 1073 paquetes, resultados que se observan en la Gráfica 2.

Tabla 3.- Resultados promedios finales de los dos modelos. Fuente: [22].

Modelo	Embutido		Hornos		Pelado		Total de Pallets
	Porcentaje de utilización	Tiempo de Procesamiento	Porcentaje de utilización	Tiempo de Procesamiento	Porcentaje de utilización	Tiempo de Procesamiento	
Actual	14.34	113.39 minutos	1.30	74.41 minutos	36.40	261.83 minutos	4.72
Alternativa	13.41	96.47 minutos	14.64	34.88 minutos	18.59	133.23 minutos	5.1



Gráfica 1.- Impacto en el producto terminado/pallets. Fuente: [22].



Gráfica 2.- Impacto en el producto terminado/paquetes. Fuente: [22].

Gracias al estudio de simulación fue posible determinar las utilizaciones reales del equipo dinámico y conocer el impacto que se obtendría al considerar una posible alternativa de mejora [4]. Los registros de la base de datos para alimentar el modelo actual fueron validados por expertos en la línea de salchicha y por el ingeniero de producción que se encarga de realizar los procedimientos para la obtención de información. Se puede decir que no siempre al realizar simulaciones de procesos industriales se van a obtener decrementos en el porcentaje de utilización de las máquinas, ya que algunas veces es mayor en las alternativas propuestas, lo cual puede ser muy bueno en determinados casos. [8]. Cabe destacar que esta investigación se vio limitada a solo la evaluación de la línea en proceso y la alternativa propuesta por la empresa cárnica, por lo cual es necesario aplicar alguna metodología de lean manufacturing e innovación para aumentar la productividad de la empresa [11]. De acuerdo a la información científica que existe, se propone emplear oportunidades de mejora mediante innovación y Triz

[13] para poder alcanzar la idealidad, que es la tendencia de un sistema (producto) a desempeñar su función sin consumir materia y energía. Mediante Triz y herramientas para el diseño de nuevos productos [15] se pueden profundizar más ciertas áreas que generan retrasos en una línea de producción, para encontrar soluciones creativas a problemas ergonómicos, tales como el diseño de estaciones de trabajo, manipulaciones manuales entre otros [14].

La aportación principal de este trabajo fue la combinación de la ciencia de simulación con herramientas, programas informáticos, diagramas de control, métodos, gráficas y técnicas estadísticas para obtener resultados a problemas complejos en la industria cárnica. Esto contribuye a una nueva exploración de trabajo al estado vigente en el área de simulación y procesos industriales, lo que puede llegar a servir de orientación para cualquier investigador, aplicable a campos internacionales.

Trabajo a futuro

En este artículo se ha puesto énfasis en el procedimiento para construir un modelo de simulación con la ayuda de la herramienta SIMIO. De acuerdo con la alternativa planteada se obtuvieron buenos resultados; sin embargo, para que la empresa cárnica sea más competitiva en su sector y responda mucho mejor a las exigencias del cliente se requiere la mejora continua, por lo que se aplicará la técnica TRIZ y otras herramientas de ingeniería industrial. El propósito posterior al presente artículo es encontrar soluciones factibles y creativas que permitan modificar, aplicar e innovar en la línea de producción de salchichas tipo Viena. Fundamentándose en los principios inventivos se realizará la validación en patentes a nivel mundial, con esto reducir al menos un 35% de los operarios, eliminar cuellos de botella, deducir tiempos de procesamiento de manera significativa y lograr un adecuado flujo del producto a su etapa final que es empaquetado.

Conclusiones

Actualmente muchas empresas deben gestionar una elevada cantidad de alternativas a la hora de tomar sus decisiones, debido a la enorme complejidad existente en el entorno de competencia en el que se desenvuelven. Mediante la combinación de simulación, técnicas estadísticas y experimentales es posible comparar diferentes escenarios en un entorno simulado como experimental, para obtener una perspectiva sobre las ventajas e inconvenientes de implementar alguna alternativa de un modo cuantificado.

El modelo de este trabajo permitió concentrarnos en el valor de la simulación como soporte a la toma de decisiones, se demostró que la alternativa propuesta por la empresa es una buena alternativa que mejora las medidas de desempeño, pero posiblemente no sea la óptima, ya que además de la simulación, se necesita aplicar metodologías como TRIZ para simplificar actividades que retrasan el tránsito del producto y optimizar los niveles de funcionamiento del sistema.

Agradecimientos

Primeramente, quiero dar gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de llegar hasta el momento de hoy, agradezco el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) como al Instituto Tecnológico de Orizaba. Quiero dedicar este artículo a mis profesores: el MC. Constantino Gerardo Moras Sánchez, el Dr. Guillermo Cortés Robles, el Dr. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre y al Ing. Carlos Edu Argüelles Téllez por su contribución al presente artículo.

Referencias

- [1] L. Quintana, «Situación actual y perspectivas del mercado mundial de las carnes,» 13 02 2017. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Industria-Cárnica/Articulos.html>. [Último acceso: 24 Julio 2020].
- [2] I. L. F. H. Encinas, «Importancia de la industria cárnica en México,» Consejo Nacional Agropecuario, Mexico, 2019.
- [3] SADER, «Boletín mensual de producción cárnica en canal de bovino,» Gobierno de México, México , 2019.
- [4] C. G. M. S. M. J. F. C. Á. P. José Efraín Ferrer Cruz, « Aplicación de simulación para el incremento de la productividad de una empresa generadora de panela en la Ciudad de Tuxtepec, Oaxaca,» *Academia Journals*, vol. 7, n° 1, p. 8, 2013.

- [5] S. Beer, *Diagnosing the System for Organizations.*, USA: John Wiley & Son, 1985.
- [6] D. Davis, *Investigación en administración para la toma de decisiones*, México: Thomson, 2001.
- [7] D. L. Z. R. y J. C. O. Lopera, «Modelo de simulación de alternativas de productividad para apoyar los procesos de toma de decisiones en empresas del sector cárnico,» *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, vol. 30, nº 2, p. 16, 2019.
- [8] H. Mejía Ávila y M. Galofre Vásquez, «Aplicación del software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos,» *Prospectiva -Universidad Autónoma del Caribe*, vol. 6, nº 2, p. 8, 2008.
- [9] A. A. S. C. Pritsker, *Management Decision making : A Network Simulation Approach*, USA: Prentice:Hall, 1983.
- [10] J. C. C. G. J. A. V. Puche Regaliza, «Simulación como herramienta de ayuda para la toma de decisiones empresariales. Un caso práctico,» *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*, vol. 21, nº (), p. 18, 2016.
- [11] A. D. C. F. D. L. S. M. Pablo Canalesa, *Trabajo de grado en modalidad de aplicación de una metodología Lean Manufacturing para aumentar la productividad del chorizo en una empresa que elabora productos cárnicos procesados*, Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2018.
- [12] J. C. T. L. A. P. P. A. S. Helmer Paz Orozco, «Propuesta para un diseño de distribución en planta, en el área de separado para una empresa de alimentos cárnicos, evaluada mediante una herramienta de simulación - FLEXIM.,» *Publicaciones e Investigación. Bogotá, Colombia*, vol. 12, nº 2, p. 12, 2018.
- [13] M. V. V. M. F. M. A. Q. C. M. S. Jaime A. Aguilar Zambrano, «Uso de la Teoría de Solución de Problemas Inventivos (TRIZ) en el análisis de productos de apoyo a la movilidad,» *Ingeniería y Competitividad-Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia.*, vol. 14, nº 1, p. 15, 2012.
- [14] O. R. L. Marco Henrich Saavedra, «Aplicaciones de la metodología TRIZ en el diseño ergonómico de estaciones de trabajo,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, vol. 16, nº 1, p. 6, 2013.
- [15] C. E. M. O. M. R. P. S. O. M. . E. L. O. Lidilia Cruz Rivero, « Uso de TRIZ, VOC y QFD como herramientas para el diseño de nuevos productos,» *Cujae*, vol. S/N, nº S/N, p. 7, 2014.
- [16] A. M. y K. D. Law, "Simulation modeling and analysis", U.S.A: , Editorial McGraw Hill, 2007.
- [17] E. A. M. R. A. C. Jose A. Campo, «Metodología basada en simulación para la programación de recursos en líneas de confección,» *Espacios*, vol. 39, nº 24, p. 16, 2018.
- [18] J. D. Domínguez, «Optimización simultánea para la mejora continua y reducción de costos en procesos,» *Universidad EAFIT*, vol. 2, nº 4, p. 19, 2006.
- [19] M. C. G. G. L. B. H. José Roberto C. González, «Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional,» *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, nº 4, p. 21, 2007.
- [20] C. Moras S., «"Apuntes de Simulación",» Instituto Tecnológico de Orizaba, Posgrado, México, 2019.
- [21] J. Banks, *Introduction to Discrete-Event System Simulation*, (4ta ed.). India: Pearson Education India, 2005.
- [22] M. H. Bonilla, *Evaluación de una línea de producción de embutidos utilizando simulación en SIMIO y la teoría de TRIZ Para crear estrategias de mejora en las células de trabajo*, México: Tecnológico Nacional de México, 2020.
- [23] E. CIANCA, *Base de datos*, México: Empacadora CIANCA, 2019.
- [24] H. G. D. E. & C. B. L. García Reyes, *Simulación y Análisis de sistemas con Promodel*, México: Pearson, 2006.
- [25] E. Garavito, « Técnicas Modernas de Optimización. Bucaramanga,» Universidad Industrial de Santander UIS., 2012, p. 3.
- [26] D. S. W. K. Jeffrey Smith, *Modelación y Simulación: Modelado análisis y aplicaciones*, México: CreateSpace Independent Publishing Platform, 201, 2018.
- [27] R. I. S. M. J. Rios Insus David, *Simulación métodos y aplicaciones*, México: Alfaomega, 2000.
- [28] S. D., *Ingeniería y administración de la productividad*, México: Editorial McGraw Hill, 1994.