

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/351098622>

Aplicación de la teoría de restricciones a un proceso productivo alimenticio por medio de simulación de eventos discretos

Presentation · October 2020

CITATIONS

0

6 authors, including:



Geraldina Yesica Roark

National University of the Center of the Buenos Aires Province

15 PUBLICATIONS 18 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Silvia Urrutia

National University of the Center of the Buenos Aires Province

12 PUBLICATIONS 18 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Franco Chiodi

National University of the Center of the Buenos Aires Province

17 PUBLICATIONS 33 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Métodos de Simulación en la Industria 4.0 como apoyo a la toma de decisiones [View project](#)



Maturity of Performance Measurement Systems [View project](#)

Aplicación de la teoría de restricciones a un proceso productivo alimenticio por medio de simulación de eventos discretos

Roark, Geraldina¹; Acosta, Esteban²; Urrutia, Silvia¹; Queiroz, José A.³; Chiodi, Franco¹

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Av. Del Valle 5737, Olavarría. groark@fio.unicen.edu.ar

² Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento
Juan María Gutiérrez 1150, Los Polvorines, Argentina. eacosta@campus.ungs.edu.ar

³ Instituto de Engenharia de Producao e Gestao, Universidad Federal de Itajubá
Av. BPS, 1303, Itajubá – MG, Brasil. ja.queiroz@unifei.edu.br

RESUMEN

En el presente trabajo se aplica la teoría de restricciones (TOC) como técnica sistemática de mejora de procesos en una industria alimenticia bonaerense dedicada a la producción de snacks saborizados. El objetivo de su aplicación consiste en analizar la capacidad del sistema productivo, identificando sus principales restricciones, en pos de evaluar futuras alternativas que permitan aumentar su nivel de producción. Para lograr este objetivo se recurre a la implementación de técnicas de modelado y simulación de eventos discretos. En este sentido, el estudio se inicia con un relevamiento del proceso y la recolección de datos, para su posterior representación a través de la técnica de modelado conceptual IDEF-SIM. Dicha técnica, junto al modelo de datos, constituyen la base para el diseño del modelo computacional. Para su desarrollo se seleccionó a Flexsim® como software de simulación específico. Construido el modelo computacional, se procede a su validación a través del uso de datos reales provistos por el dueño de la empresa pyme, comparando los resultados obtenidos en el modelo de simulación respecto al sistema en estudio.

Validado el modelo, a través de sus diferentes corridas, se extraerá información relevante para la aplicación de los cinco pasos esenciales de TOC. Sus resultados permitirán la planificación futura de acciones para fortalecer los eslabones más débiles del sistema, en pos de mejorar su desempeño.

Palabras Claves: TOC, Teoría de restricciones, Simulación de eventos discretos, Industria alimenticia, Modelaje conceptual IDEF SIM, Flexsim®

ABSTRACT (Resumen en inglés)

In the present work, theory of restrictions (TOC) is applied as a systematic process improvement technique in a Buenos Aires food industry dedicated to produce flavored snacks. The objective of its application is to analyze the capacity of the production system, identifying its main restrictions, in order to evaluate future alternatives that allow increasing its level of production. To achieve this objective, the implementation of discrete event modeling and simulation techniques is used. In this sense, the study begins with a survey of the process and data collection, for its subsequent representation through the IDEF-SIM conceptual modeling technique. This technique, together with the data model, constitutes the basis for the design of the computational model. For its development, Flexsim® was selected as the specific simulation software. Once the computational model has been built, it is validated through the use of a set of statistical techniques that allow comparing the similarity of the real operating results with the results obtained in the simulation model with respect to the system under study.

Once the model has been validated, through its different runs, relevant information will be extracted for the application of the five essential steps of TOC. Its results will allow future planning of actions to strengthen the weakest links in the system, in order to improve its performance.

Keywords: TOC, Discrete-event simulation, food industry, conceptual modeling IDEF SIM, Flexsim®.

1. INTRODUCCIÓN

Las prácticas de la Teoría de Restricciones (Theory Of Constraints TOC - en inglés) han sido ampliamente desarrolladas y proveen una solución integral a la gestión de planta para optimizar los tiempos de distribución, inventarios y costos de operación. Cada proceso es una cadena de operaciones, y la fuerza de la cadena está dada por su eslabón más débil, llamado “restricción” [1].

En este estudio, se aplica la simulación por eventos discretos para identificar las restricciones, denominadas cuellos de botella, de un proceso según la metodología TOC. De acuerdo con [2], la simulación por eventos discretos es una técnica que se usa para ejecutar modelos que representan sistemas a analizar, con diferentes tipos de objetivos, y donde su utilización es amplia y diversa. Varios autores señalan que la simulación es la segunda técnica más utilizada para abordar la gestión de operaciones en procesos manufactureros y de negocios. Sus aplicaciones pueden ir desde problemas logísticos internos hasta líneas productivas, entre otros.

Este estudio surge a partir la problemática detectada en una empresa pyme alimenticia, que se dedica a la elaboración de snacks de papas fritas, en la cual existe una alta demanda de producto, que no logra cubrir con su capacidad actual.

En este marco/contexto, el objetivo principal del trabajo consiste en analizar la capacidad del sistema productivo e identificar las restricciones del proceso de producción de fritas, a través del uso del modelaje y la simulación de eventos discretos, empleando las dos primeras etapas de la metodología TOC.

Para alcanzar este objetivo general, se despliegan este conjunto de objetivos específicos:

- Identificar y relevar el proceso de elaboración de snack de papas fritas.
- Realizar la simulación del proceso y validar sus resultados.
- Identificar las restricciones o cuellos de botella del proceso para determinar su capacidad.

Con esta información, se espera poder proponer mejoras al proceso, que permitan minimizar o eliminar restricciones y en consecuencia aumentar la capacidad del mismo. En futuros estudios se podrá ejecutar la simulación de diferentes escenarios, lo que permitiría estimar su impacto en la capacidad del proceso.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Teoría de restricciones

La Teoría de Restricciones (TOC) es todo un proceso de mejoramiento continuo, basado en un pensamiento sistémico, que ayuda a las empresas a incrementar sus utilidades con un enfoque simple y práctico, identificando las restricciones para lograr sus objetivos, y permitiendo efectuar los cambios necesarios para eliminarlos [3].

La Teoría de Restricciones se basa en el siguiente ciclo compuesto por cinco pasos, tal como se muestra en la Figura 1:

1. Identificar la restricción del sistema
2. Decidir cómo explotar la restricción del sistema
3. Subordinar todas las actividades del sistema.
4. Elevar la restricción del sistema.
5. Implementar y volver a analizar el sistema.



Figura 1. Etapas del análisis TOC.

Para [3], la Teoría de Restricciones reconoce que la producción de un sistema consiste en múltiples pasos, donde el resultado de cada uno de esos pasos depende del resultado de pasos previos. El resultado o la producción del sistema, estará limitada por el o los pasos menos productivos.

En síntesis, TOC se centra en la identificación y abordaje de las restricciones del sistema, diseñando e implementando formas efectivas para mejorar su desempeño y facilitar el logro de objetivos [4, 5]. La gestión de las restricciones permite reducir notablemente los inventarios y al mismo tiempo generar mejoras sistemáticas en el desempeño organizacional.

2.2. Simulación por eventos discretos

Según [6], la simulación es un proceso de experimentación con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo un sistema responderá a cambios en su estructura, ambiente o condiciones del contorno. Asimismo, de acuerdo a [7], la simulación se define como un proceso de experimentación a través de un modelo lógico - matemático construido en un ordenador, a imagen y semejanza de un sistema real. La ventaja de su aplicación radica en que permite imitar un proceso u operación del mundo real, como herramienta de análisis para evaluar el impacto de cambios, sin que sea necesario modificar el sistema real [8, 9].

4. METODOLOGÍA

Con el fin de identificar la restricción del proceso, se propone desarrollar un modelo de simulación, siguiendo como base un modelo que consta de tres etapas: Concepción, implementación y análisis, tal como muestra la Figura 2 [10].

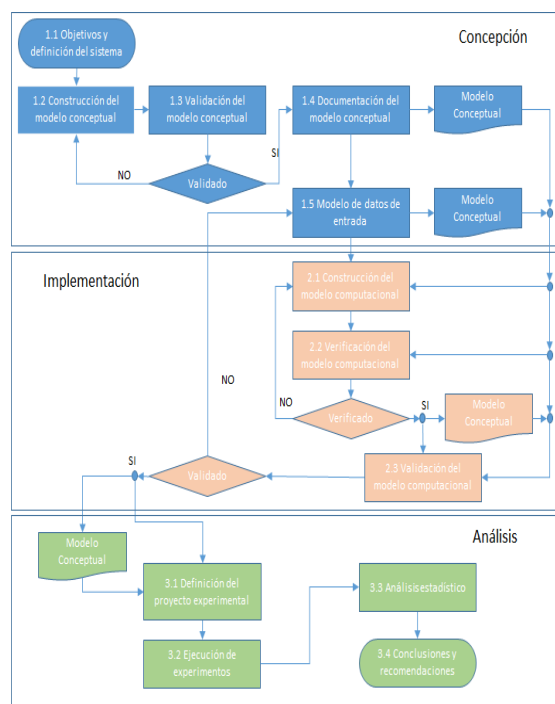


Figura 1. Método de conducción de investigación de simulación. Fuente: [10]

Dentro de la “Etapa de concepción” del proyecto, el primer paso consiste en establecer formalmente el alcance del problema, la definición del objetivo de dicho modelo y la identificación de las restricciones que el medio impone al sistema en estudio. Dicha etapa incluye además la construcción del modelo conceptual utilizando algún tipo de técnica de mapeo de proceso. La técnica de modelado conceptual empleada en el presente estudio es IDEF-SIM (Integrated Definition Methods - Simulation), desarrollada por [11]. Dicha técnica tiene como objetivo facilitar el trabajo de modelado en la fase de implementación y análisis, reduciendo el tiempo de realización del proyecto.

Una vez desarrollado el modelo conceptual, éste debe ser validado. Esto significa que debe comprobarse que las premisas del modelo conceptual sean consistentes con las premisas del sistema real, dando soporte al modelo de simulación definido [12].

Finalmente, el último paso del diseño conceptual consiste en el modelado de los datos de entrada necesarios para la construcción del modelo computacional. Para su desarrollo se es necesario conocer los datos de entrada relevantes para la construcción del modelo computacional.

En la "Etapa de implementación", se debe construir un modelo computacional que representa el modelo conceptual y el modelo de datos. Dicho modelo debe contemplar las variables de decisión, los parámetros del modelo, la formulación matemática del objetivo y las restricciones del sistema en estudio. En el presente estudio, tal modelo se construye con ayuda del software FlexSim®, especializado en simulación de procesos. La elección de este software se basó en sus recursos de fácil utilización, arquitectura abierta, concepto sencillo de modelado y escalabilidad total, además de las posibilidades de presentación, animación e introducción de cambios en 3 Dimensiones.

5. RESULTADOS

5.1. Descripción del proceso

Aquí se describen las principales operaciones y funciones del proceso productivo de elaboración de snacks de papas fritas. Actualmente, la empresa posee tres líneas de productos, y cada línea se realiza en dos presentaciones: 40 gr y 100 gr.

Esta información fue recogida de dos fuentes complementarias: documentos provistos por el dueño-gerente y una visita a la planta de elaboración.

Su proceso inicia en el almacenamiento a granel de su insumo principal, papas sucias. Se procede a una primera operación de control, para eliminar aquellos insumos no aptos para la producción, y luego se procede a la preparación de los batchs diarios.

Posteriormente se ejecuta la siguiente operación: lavado y cepillado de papas, donde se elimina la tierra y otros residuos de la superficie de los tubérculos, y se cepilla su piel.

A continuación, se procede al rebanado de papas en hojuelas. En un paso siguiente, se realiza el freído de las hojuelas en un equipo Kettle, donde las papas son sumergidas en aceite caliente. Al salir de la freidora, las hojuelas fritas pasan por una fase de control de calidad, descartando aquellas que no cumplen especificaciones (por ejemplo, sobre-freído, excesivo contenido de agua, no freído, etc).

Luego se procede al saborizado de las mismas (sal y condimentos), para completar el proceso con el envasado en dos tamaños, paquetes de 40g ó 100g, a través de una operación semiautomática. Se continua con el embalado del producto, que se ejecuta de forma manual en cajas de cartón. Finalmente, las cajas son estibadas en pallets, que contienen 70 cajas cada uno, y almacenadas en un espacio destinado a tal fin.

A continuación, se muestra un detallado diagrama de flujo del proceso productivo, provisto por la empresa (Figura 3).

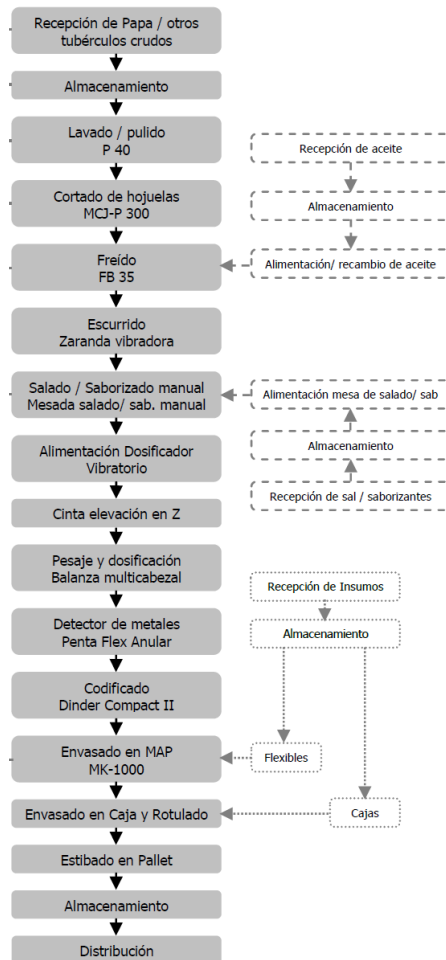


Figura 3 Diagrama de flujo del proceso productivo. Fuente: Información provista por la empresa

5.2 Etapa de concepción

A partir de los datos recopilados en el proceso de elaboración de snacks de papas fritas bajo análisis, se diseña el diagrama de flujo del proceso siguiendo el modelo conceptual bajo la técnica IDEF-SIM.

Se realizaron algunas simplificaciones en el modelo IDEF-SIM respecto al diagrama de flujo presentado previamente, para poder darle tratamiento a una primera simulación, bajo el precepto de trabajar con un modelo determinístico.

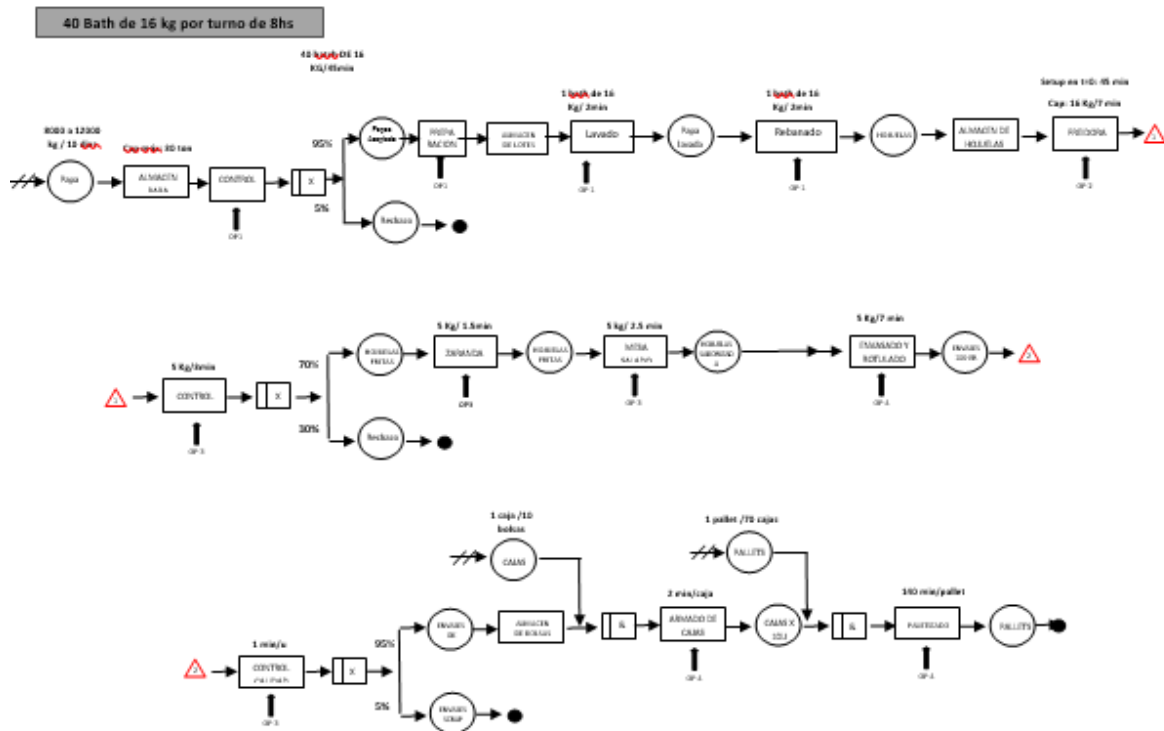


Figura 4 Modelo conceptual de la Planta de snacks según IDEF-SIM. Fuente: elaboración propia

Junto al modelo conceptual, es necesario diseñar el modelo de datos, para lo cual se procedió a recolectar información referida a los tiempos parciales que conforman el tiempo total de procesos. En esta primera fase, se consideran tiempos constantes para cada operación, lo que implica trabajar con un modelo de datos determinísticos.

Tabla 1 Tiempos y capacidades del proceso. Fuente: información provista por la empresa

Operación	Tiempo	Capacidad de batch (kg)
Control de papas sucias	1 min	16
Preparación de batch	1 min / batch	16
Lavado	2 mins / batch	16
Cortado	2 mins / batch	16
Freído	7 mins / batch	5
Control Calidad	3 mins / batch	5
Zaranda	1.5 mins / batch	5
Salado / Saborizado	2.5 mins / batch	5
Envasado y rotulado	7 mins / batch	5
Embalado	1 min / caja	70

La planta tiene organizada su actividad industrial en una única jornada diaria, de 8 horas. En cada jornada, se procesa y elabora un solo tipo de producto.

Para su validación, se realizó un intercambio con el socio gerente de la empresa, para corroborar que el modelo conceptual refleje de manera acorde el sistema real a analizar.

5.3 Etapa de implementación

Utilizando el software de simulación Flexsim ® en su versión 2020, se construye el modelo computacional, siguiendo el modelo conceptual construido con la técnica IDEF-SIM, que es mostrada en las Figuras 4 y 5, y alimentado con los datos de capacidades y tiempos, indicados en la tabla 1.

A continuación, se muestra capturas de pantalla del modelo computacional generado por el software Flexsim ® (Figuras 4 y 5).

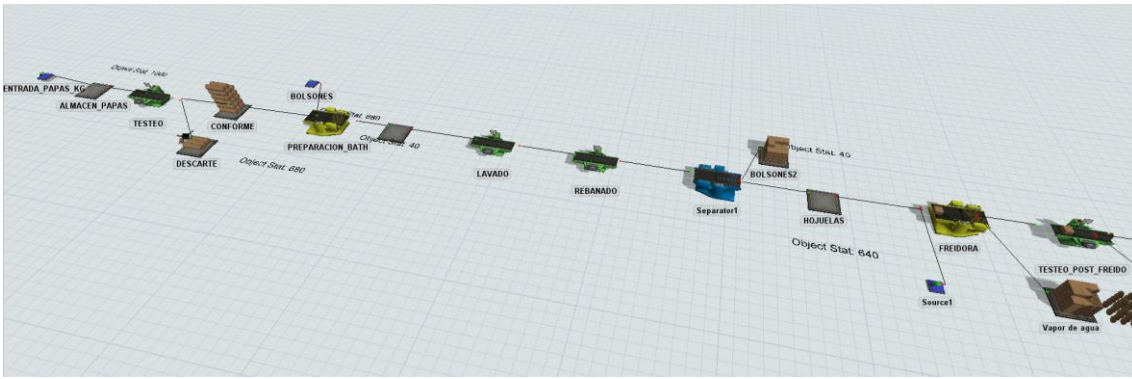


Figura 4 Modelo computacional en Flexsim® desde Almacén de papa hasta Freído. Fuente: elaboración propia

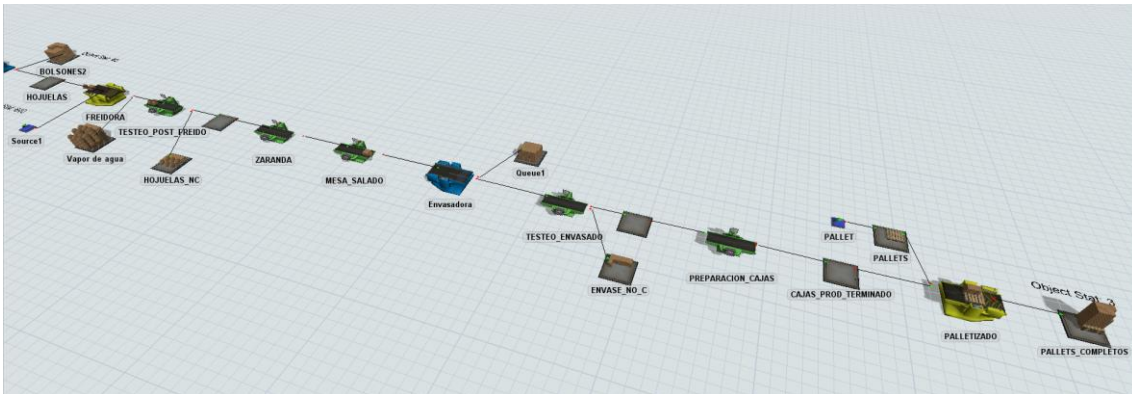


Figura 5 Modelo computacional en Flexsim® desde Freído hasta Palletizado. Fuente: elaboración propia

5.4 Análisis de resultados

Para este primer estudio exploratorio del proceso productivo, se aborda la simulación de un turno de trabajo, cuya duración es de 8 horas diarias, considerando la línea de elaboración trabajando a pleno en la producción del producto más representativo a nivel de ventas para la empresa, que es el paquete de snacks de 100 g.

Con el fin de exponer diversos resultados de la simulación, el software permite el diseño de un dashboard o tablero de comando, con información estática y dinámica de un conjunto de variables pre-seleccionadas. Siendo uno de nuestros objetivos identificar la restricción del proceso, se recurre al indicador “estado de ocupación” de cada una de las operaciones que componen el proceso. Los indicadores alcanzados se exponen en la figura 6.

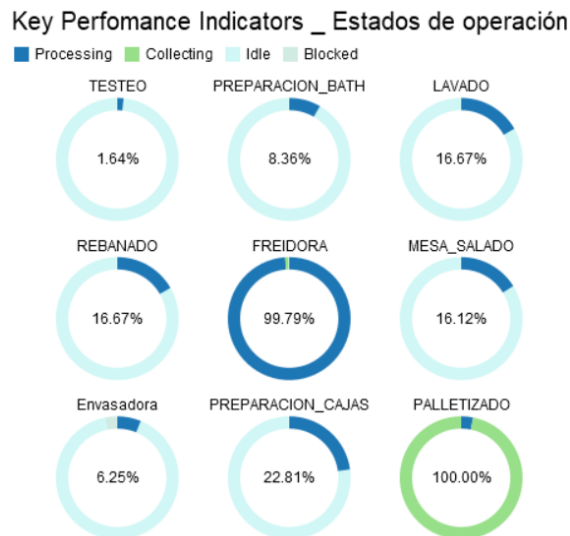


Figura 6 DashBoard de Estado de operación en Flexsim®. Fuente: elaboración propia

Otro dato interesante que muestra el software es la producción generada en el turno y los datos correspondientes al producto semielaborado que queda en diferentes operaciones al finalizar el turno de trabajo en el proceso de elaboración del snack. En la Figura 7, se presentan estos indicadores.

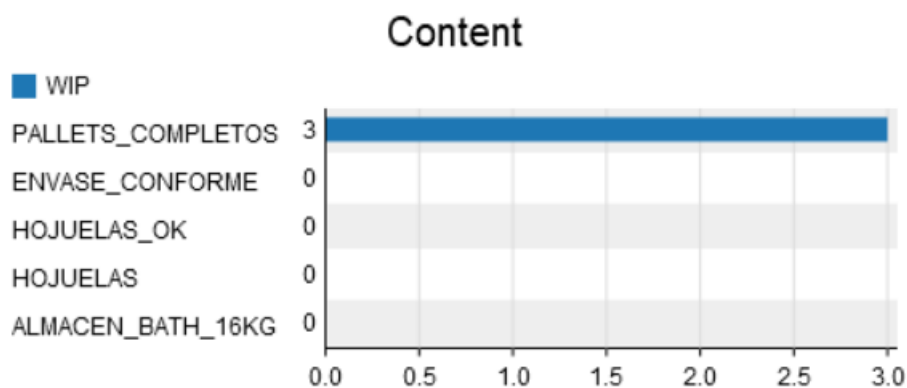


Figura 7 DashBoard de Producto terminado / producción en proceso en Flexsim ®. Fuente: elaboración propia (WIP = work in progress)

El modelo computacional cuando se realiza la corrida de simulación arrojan los siguientes resultados:

- Se completan 3 palletes de 70 cajas cada uno, como indica la Figura 7, y el contador del simulador en la operación de palletizado de la figura 6 muestra que quedan 12 cajas en espera para completar el próximo pallet.
- No se observa, en la figura 7, la presencia de producto semielaborado a lo largo del proceso.
- Según el análisis de los estados de cada operación (Figura 6), se destaca que la freidora trabaja el 99.79% del tiempo, lo que convierte a esta actividad como el cuello de botella del proceso productivo.
- Las operaciones pre-freído (control de calidad papa cruda, preparación de batches, lavado y rebanado) tienen alta capacidad ociosa, superando el 83% (estado "idle" de la Figura 6).
- La operación de palletizado ocupa casi la totalidad de su tiempo en la recolección de cajas para completar un pallet, tal como señala la Figura 6, a través del estado "collecting".

Los datos resultantes del modelo de simulación se contrastan con los datos reales del proceso, provistos por el gerente de la planta de snacks, y se puede observar que presentan un alto grado de similitud.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través de este estudio, se logra relevar, con un adecuado nivel de precisión, el proceso productivo de elaboración de snacks de papas fritas, a partir de información secundaria provista por la empresa e información primaria recopilada en una visita a la planta. Con esta información, se construyó el modelo conceptual con la técnica IDEF-SIM, diseñada específicamente para su uso en el campo de la simulación de procesos. Así se completa la etapa de concepción del proceso de simulación.

Luego se avanza en la fase de implementación, mediante la construcción del modelo computacional en el software de simulación Flexsim ®. Se emplea este software por su librería de recursos, su concepto sencillo de modelado y escalabilidad, además de las posibilidades de presentación y animación en 3D. La simulación abarca la elaboración de un único producto, paquetes de snacks de 100 g., durante un turno diario de 8 horas.

Por último, se construye un tablero de indicadores clave, que permiten identificar la restricción del proceso, así como la producción terminada y la producción en proceso. Los resultados arrojan que la operación de freído se comporta como restricción en este proceso, con una tasa de ocupación casi total, dejando a las operaciones pre-freído con una alta capacidad ociosa. Por otro lado, la línea opera de forma tal que no queda producción semielaborada. De esta manera, se concluye la fase de análisis de la investigación vía simulación. Y se da respuesta al objetivo de identificar el cuello de botella de este proceso productivo, primer paso de la metodología TOC.

Este estudio inicial y parcial debe tener continuidad para completar el ciclo TOC, avanzado en las fases pendientes, lo que permitirá lograr un mayor nivel de profundidad en el conocimiento y análisis del proceso en estudio. A su vez, es posible explorar y analizar escenarios viables que mejoren determinadas variables del proceso, por ejemplo, capacidad, tiempos, rendimiento, productividad.

Surgen como recomendaciones para futuros estudios la posibilidad de mejorar los modelos, conceptual y computacional. Esto puede realizarse a través de la transformación del modelo de datos hacia variables probabilísticas a partir de la medición de tiempos y estudio de métodos en el proceso, incluir en el modelo computacional las dimensiones del Layout de planta y el rol de los 5 operadores que trabajan en el proceso de producción.

Este estudio es el puntapié inicial para el despliegue del uso de tecnologías de la Ingeniería Industrial que permitan en primer lugar lograr la comprensión de fenómenos industriales, y luego su análisis y mejora, a partir de herramientas como la teoría de restricciones, la simulación de eventos discretos, y el análisis estadístico de resultados. En forma potencial, se podría alcanzar el diseño y construcción del “gemelo digital”, aquel modelo computacional que dialogue e interactúe con el sistema ciberfísico, en el marco del paradigma de la Industria 4.0.

7. REFERENCIAS.

- [1] Chompoonoot K. and Voratas K. (2007) “Simulation-Based Procedure for Bottleneck Identification”. *En J.-W. Park, T.-G. Kim, and Y.-B. Kim (Eds.): AsiaSim 2007, CCIS 5, pp. 46–55, 2007. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.*
- [2] Vieira, A. A.; Dias, L. M.; Santos, M. Y.; Pereira, G. A.; Oliveira, J. A. (2018). “Setting an industry 4.0 research and development agenda for simulation-a literature review”. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 17(3).
- [3] Goldratt E. M. and Cox J. (2012). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, Routledge, Revised. 2012.
- [4] Choe K. and Herman S. (2004). “Using theory of constraints tools to manage organizational change: a case study of Euripa Labs”. *International Journal of Management & Organisational Behaviour*, Volume 8 (6), 540-558 ISSN 1440-5377.
- [5] Dettmer H. W., *Goldratt’s Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*. ASQ Quality Press, Milwaukee, USA, 1st Edition. 1996.
- [6] Bateman, R. E., Bowden, R. O., Gogg, T. J., Harrel, C. R., Mott, J. R. A. E Montevechi, J. A. B. (2013). *Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura*. Elsevier, Rio de Janeiro, 1ra edición.
- [7] Taha, H.A. (2012). *Investigación de Operaciones*. 9º. ed. Editorial Prentice Hall, México.
- [8] Ribeiro Lima Filho, E.; Carvalho Pereira, R.; Freire De Castro, V. (2008). “Simulação de eventos discretos aplicada em manutenção de tomógrafos hospitalares”. *SPOLM 2008, Rio de Janeiro - Brasil*.
- [9] Castro, R., Kofman, E., Wainer, G. (2010). “A Formal Framework for Stochastic Discrete Event System Specification Modeling and Simulation”. *Simulation*, 86(10), 587–611.
- [10] Barra Montevechi, J. A.; Leal, F.; Ferreira De Pinho, A.; Da Silva Costa, R. F.; Moura De Oliveira, M. L.; Faustino Da Silva A. L. (2010). “Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company”. *Proceedings of the Winter Simulation Conference. Brazilia - Brasil*.
- [11] Leal, F.; Almeida, D. A.; Montevechi, J. A. B. (2008). “Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF”. *Anais XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. João Pessoa*.
- [12] Sargent, R. G. (2013). “Verification and validation of simulation models”. *Journal of Simulation*, pp. 12–24.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean resaltar que esta publicación se logra en el marco del trabajo colaborativo dentro de la Red Internacional de Simulación en la Industria 4.0 entre las instituciones universitarias IDEI-UNGS (Argentina), FI-UNICEN (Argentina) e IEPG-UNIFEI (Brasil).