

DISEÑO DE UN SISTEMA DE SURTIMIENTO DE MATERIALES BAJO PRINCIPIOS ESBELTOS Y DE MANUFACTURA 4.0 USANDO SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

DESIGN OF A MATERIAL SUPPLY SYSTEM UNDER LEAN PRINCIPLES AND MANUFACTURING 4.0 USING DISCRETE EVENT SIMULATION

Zurisadai Yunnuen Villanueva Villanueva

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m1903066@itcelaya.edu.mx

José Alfredo Jiménez García

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alfredo.jimenez@itcelaya.edu.mx

Manuel Darío Hernández Ripalda

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
dario.hernandez@itcelaya.edu.mx

Salvador Hernández González

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx

Vicente Figueroa Fernández

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx

Recepción: 14/enero/2021

Aceptación: 10/febrero/2021

Resumen

En este artículo se presenta el análisis de un sistema de surtimiento de materiales bajo principios de manufactura esbelta con la finalidad de reducir el trabajo en proceso por falta de surtimiento de materiales usando simulación de eventos discretos y la aplicación de herramientas de manufactura 4.0 con el software FlexSim.

Se presentó una simulación basada en el análisis de la reducción del inventario en proceso dentro de una empresa. El problema que se resolvió con esta investigación, fue evitar cualquier retraso o escasez de material en la línea de producción, para

mantener sin interrupción la línea de producción y al mismo tiempo reducir los niveles de inventario, aplicando una estrategia de surtimiento justo en el momento en que se requieren los materiales y con la ayuda de herramientas de la industria 4.0. El dar una respuesta rápida a las necesidades de desabasto, es una gran área de oportunidad dentro de cualquier empresa.

Palabras Clave: Eventos discretos, simulación, Manufactura 4.0, FlexSim.

Abstract

This article presents the analysis of a material supply system under lean manufacturing principles in order to reduce the work in process due to lack of material supply using discrete event simulation and the application of 4.0 manufacturing tools with the software FlexSim.

A simulation based on the analysis of inventory reduction in the process within a company was presented. The problem that was solved with this research was to avoid any delay or shortage of material in the production line, to maintain the production line without interruption and at the same time reduce inventory levels, applying a just-in-time supply strategy. in which materials are required and with the help of industry 4.0 tools. Giving a quick response to shortage needs is a great area of opportunity within any company.

Keywords: Discrete Events, Simulation, Manufacturing 4.0, FlexSim.

1. Introducción

El avance tecnológico está actualmente empujando a los procesos de producción hacia la implementación de la Manufactura 4.0 para lograr la interconexión y volverse más eficientes.

La mejora de información en tiempo real con la manufactura 4.0 logra un perfeccionamiento de la competencia, el extra que se logra con esto, es una mejora en el valor de la empresa y la rentabilidad.

La implementación de la Manufactura 4.0 en el proceso de surtimiento en una empresa esbelta implica la sincronización del área de abastecimiento con las líneas de producción dentro de la misma empresa.

El dar una respuesta rápida a las necesidades de desabasto, es una gran área de mejorar el desempeño de su sistema producción. A continuación, se presenta una breve revisión de la literatura especializada.

Manufactura 4.0

A lo largo de la evolución de la civilización, se pueden considerar tres etapas de la revolución industrial. De acuerdo a [Witkowski, 2017]. La primera revolución se dio con la mecanización de la producción utilizando máquinas de vapor. El segundo escenario que plantea el autor es la introducción de la producción en masa debido a la electricidad, y el tercero se dio con la informatización del proceso utilizando tecnología de la información, para la automatización acelerada.

La figura 1 expresa el diagrama de las cuatro revoluciones industriales de acuerdo a [Zalewski, 2010].

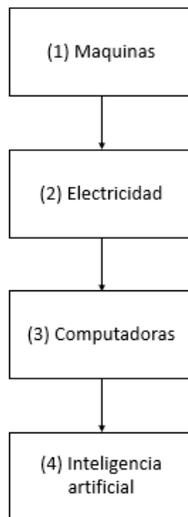


Figura 1 Diagrama de las revoluciones industriales.

La cuarta revolución industrial, conocida como industria 4.0 o fabricación inteligente, está en curso, con sus nueve pilares: Big Data, Simulación, Fabricación aditiva, Ciberseguridad, Cloud computing, Internet de las Cosas, Integración Realidad aumentada, Sistemas ciber físicos y robótica [Hendler, 2019]. La figura 2 expresa los nueve pilares de la manufactura 4.0 de acuerdo con Hendler.

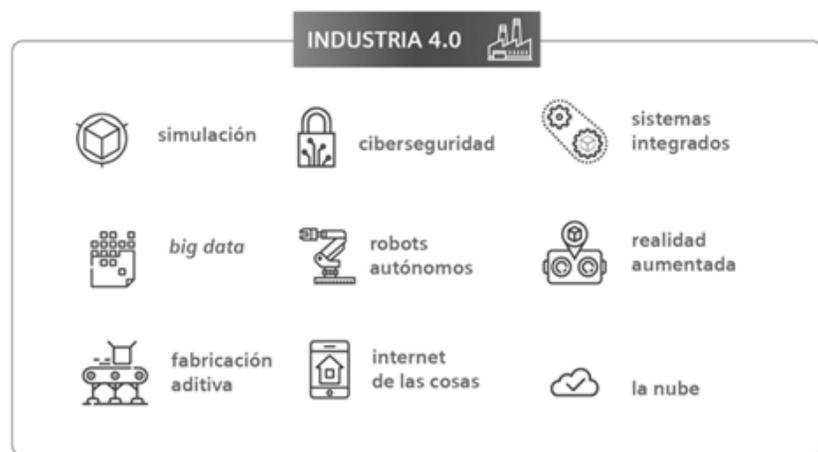


Figura 2 Los nueve pilares de la industria 4.0.

La manufactura inteligente

En Alemania durante el año 2011 surge el concepto de industria 4.0, como referencia a una política económica gubernamental basada en estrategias de alta tecnología [Roblek et al., 2016], caracterizada por la digitalización y automatización de la información en la manufactura. Y, por las capacidades de interacción y el intercambio de información entre humanos y máquinas. La información sobre la industria 4.0 es reciente, pero ha sido interpretada como una maquinaria física trabajando a la par con software en red que permite controlar y planear mejor [Gershenfeld & Euchner, 2015]. También, va de la mano con las tecnologías y los conceptos de las redes de trabajo, el cual describe una producción orientada a los sistemas ciberfísicos (CPS, por sus siglas en inglés), sistemas con capacidades físicas y de cómputo que pueden interactuar con humanos, que integran las instalaciones de producción, los sistemas de almacenamiento y logística, así como el establecimiento de redes de trabajo para la creación de valor [Riedl et al., 2014].

Herramientas de la industria 4.0

Para lograr implementar la industria 4.0 en una empresa, es necesario tomar en cuenta las herramientas que cada compañía deberá trabajar para integrar en sus plantas de producción:

- Big Data. Para [Gershenfeld & Euchner, 2015] esto se relaciona con las tecnologías que capturan, archivan, analizan y difunden grandes cantidades

de datos derivados de los productos, procesos, máquinas y personas interconectado en una empresa, así como el medio ambiente alrededor.

Evaluaciones más altas del producto por parte del cliente debido a que es más rápido comunicaciones, productos personalizados y la capacidad de perfilar clientes y determinar sus necesidades relativas.

- Cloud computing. De acuerdo con [Büchi et al., 2019] las tecnologías de computación en la nube facilitan el archivo y procesamiento de grandes cantidades de datos con alto rendimiento en términos de velocidad, flexibilidad y eficiencia.

Computación en la nube también da como resultado una mayor cantidad de servicios desarrollados basados en datos para un sistema productivo - incluyendo monitoreo y funciones de control: para garantizar la calidad y mejorar las operaciones y producción.

Las oportunidades y los riesgos del uso de estas tecnologías pueden ser agregado a aquellos involucrados en análisis de Big Data e Internet de las tecnologías de las cosas.

- Ciberseguridad. De acuerdo con el autor [Tuptuk, 2018] esto incluye medidas de seguridad diseñadas para proteger el flujo de información sobre sistemas corporativos interconectados. Estas tecnologías están diseñadas para apoyar a otros limitando los riesgos vinculados a la creciente difusión de la información.
- Sistemas ciberfísicos y robótica. Citando a los autores [Chung & Swink, 2009] esto se refiere a la creación de módulos interconectados y modulares sistemas que garantizan planes industriales automatizados. Las tecnologías incluyen sistemas automáticos de movimiento de materiales y robótica avanzada, la última de las cuales ahora está en el mercado como "cobots" (robots colaborativos) o guiados automatizados vehículos o vehículos aéreos no tripulados.
- Internet de las cosas (IoT). De acuerdo con [Gershenfeld & Euchner, 2015] esto corresponde a un conjunto de dispositivos y sensores inteligentes que facilitan la comunicación entre personas, productos y máquinas. Mayores

evaluaciones de productos por parte del cliente debido a: un mayor conocimiento de las necesidades y preferencias del cliente con el objetivo de personalización de productos; incluyendo clientes en producción, o la co-creación de valor; y una mayor garantía con respecto origen, uso y destino de los productos, lo que garantiza que el producto se puede rastrear de manera efectiva desde la fábrica hasta cliente.

- Simulación. La integración ofrecida por Industria 4.0 [Büchi et al., 2019] se caracteriza por ajustes para obtener materiales, procesos productivos (discreto elementos) y productos (elementos terminados). Esto implica la reproducción del mundo físico virtual modelos y funcionamiento del operador para estacionar y optimizar.
- Realidad aumentada. Esto implica una serie de dispositivos que enriquecen o disminuyen la percepción sensorial humana a través del acceso a lo virtual ambientes; esto va acompañado de elementos sensoriales, como sonido, olor o tacto [Chung & Swink, 2009]. Estos elementos se pueden agregar a dispositivos móviles (teléfonos inteligentes, tabletas o PC) u otros sensores para aumentar la visión (gafas de realidad aumentada), sonido (auriculares) o táctil (guantes) para proporcionar multimedia información.
- Fabricación aditiva. Este proceso de producción aditiva permite productos complejos creando capas de materiales, incluidos tipos tan diferentes de materiales como plásticos, cerámicas, metales y resinas, por lo tanto, eliminando la necesidad de ensamblar el material [Gershenfeld, 2015]. Mayor velocidad en la creación de prototipos debido a tiempos más rápidos en complejas fases de diseño y creación de prototipos; La reducción de los costos de instalación, errores y tiempos de inactividad de la máquina más calidad de producto superior y menos desperdicio de producción al crear lotes de producción pequeños y personalizados. Esto es potencialmente ventajoso en términos de menores costos de producción y desperdicio.
- Integración vertical y horizontal. El segundo (integración vertical) se refiere a relaciones de la empresa con sus proveedores y clientes (integración horizontal) se refiere a la integración e intercambio de información entre las

diferentes áreas en la integración ofrecida por Industria 4.0 se caracteriza por dos dimensiones: uso interno externo [Chung & Swink, 2009].

Surtimiento de materiales dentro de una misma empresa

De acuerdo con [Nava, 2016], "El almacén de materia prima de una empresa, es el encargado de recibir todo material, herramientas y materiales indirectos para el proceso". En el contexto del suministro de materiales en la planta, a menudo se discuten alternativas al suministro continuo. Sin embargo, existe una falta de conocimiento del desempeño asociado a los procesos y operaciones para un producto o pedido determinado. Con suministro continuo, una serie de piezas de cada número de pieza se almacenan (Por lo tanto, el suministro continuo a veces se denomina "almacenamiento en línea".) Cuando el suministro continuo se utiliza, el operador en cada estación de debe elegir las piezas correctas para cada producto o proceso. El suministro continuo a menudo se asocia con flujos de materiales más directos, esto se refleja en varias áreas de desempeño, incluido el consumo de horas hombre, la calidad del producto, la flexibilidad y los niveles de inventario. En la práctica [Hua & Johnson, 2010], las respectivas ventajas e inconvenientes asociados con la preparación de equipos y el suministro continuo a menudo están relacionados con los entornos en los que los materiales que se alimentan y los principios en cómo se aplican.

Logística Just-In-Time (JIT) en el Suministro de Materiales

La logística [Bertelsen & Nielsen, 1997], originalmente el 'Arte de mover y acuartelar tropas', es hoy un medio muy importante para aumentar productividad y flexibilidad en cualquier industria manufacturera. Los métodos logísticos de la industria manufacturera fueron desarrollados originalmente principalmente para la logística interna, pero con la creciente distribución de la procesos de fabricación, el enfoque actual está tanto en la logística externa como en la sincronización entre las partes de la cadena de suministro. Se pueden identificar dos principios diferentes:

- Logística por planificación (Planificación de Requerimientos de Materiales).
- Logística por consumo.

La principal diferencia entre los dos es que por planificando el consumo previsto se calcula y los materiales ordenados y entregados en consecuencia, mientras que por consumo el almacenamiento se llena cuando se alcanza un cierto nivel mínimo. Una forma muy especial de logística por consumo es Just-In-Time (JIT) donde el nivel mínimo antes del llenado es cercano a cero y el tamaño del pedido de la pieza en cuestión es cercano a uno. Al mismo tiempo, se hace hincapié en una planificación general llevada a cabo por la dirección combinada con una operación diaria realizada directamente.

La logística JIT fue desarrollada por el sistema de fabricante de automóviles japonés Toyota como parte esencial del sistema de producción. La base de este sistema es la eliminación absoluta de residuos.

FlexSim

De acuerdo con [Luściński & Ivanov, (2020)], la plataforma base para cualquier proyecto de Industria 4.0 es el software FlexSim. La simulación que se puede lograr con FlexSim se centra en las herramientas 4.0 para mejorar la conectividad entre sistemas en un entorno de producción en unión. El modelado de simulación le permite desarrollar un modelo informático de su instalación del mundo real y luego usar ese modelo para simular sus operaciones a lo largo del tiempo.

Las capacidades de FlexSim agregan un nuevo nivel de comprensión a su instalación de producción y sus sistemas autónomos [M. Beaverstock et al., 2012]. La necesidad de ejecutar y analizar modelos de simulación en la nube seguirá aumentando a medida que las empresas requieran opciones informáticas más potentes y escalables. FlexSim encaja en este espacio de dos formas principales:

- Pudiendo ejecutar modelos de simulación en la nube usando tecnología de servidor web.
- Pudiendo usar CPU distribuidas para ejecutar muchas réplicas de simulación.

Los datos generados por FlexSim muestran dónde estará un sistema a futuro. Estos datos, utilizados en una estrategia de análisis predictivo más amplia, son la ventaja competitiva que las empresas necesitan en un entorno cada vez más competitivo.

2. Método

Para lograr el diseño y la correcta aplicación de las herramientas de industria 4.0 se propone la siguiente metodología expresada en la figura 3.

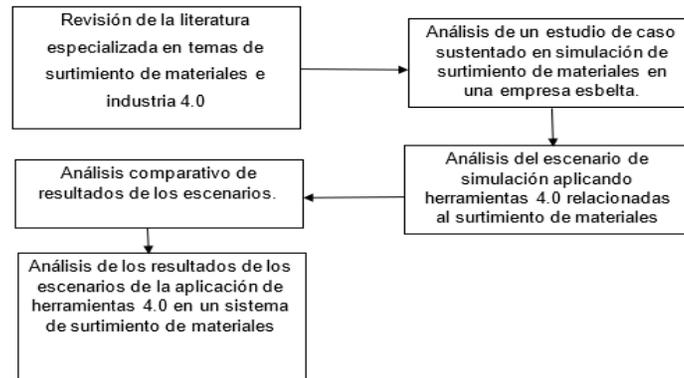


Figura 3 Diagrama de flujo del método experimental de esta investigación.

Revisión de la literatura especializada en los temas de surtimiento de materiales e industria 4.0

Las empresas de clase mundial actualmente son las pioneras en la aplicación de las herramientas de la industria 4.0. Visualizan su aplicación como una estrategia que les permita seguir siendo competitivos y mantenerse en el mercado global. El uso de estas herramientas es un tema relativamente nuevo. Su información en la literatura especializada y los casos de éxito en su implementación es muy escasa. La primera etapa de la metodología consiste en realizar una minuciosa revisión del estado del arte. Que permita comprender e identificar conceptos clave necesarios para diseñar un sistema de surtimiento de materiales en una empresa esbelta. Así como identificar casos de éxito documentados.

Durante los últimos años la aplicación de las herramientas de la industria 4.0 han adquirido una importante participación en las investigaciones. Prueba de esto es el amplio catálogo de investigaciones realizadas por diferentes investigadores. Los artículos revisados cubren el enfoque de esta tesis y se pueden resumir los temas del estado del arte en:

- Reducción del tiempo de surtimiento.
- Aplicación de la industria 4.0 a la industria esbelta.

- Estudio de la cadena de surtimiento.
- Perdidas por surtimiento.
- Aplicación de las herramientas de la industria 4.0.

La información obtenida de la revisión del estado del arte es punto de partida para esta tesis. Esto debido a las recomendaciones e implementaciones de los investigadores que ayudan a centrarnos en el uso correcto de las herramientas 4.0 y el conocimiento de la cadena de surtimiento.

Análisis de una simulación basada en el análisis de la reducción del inventario en proceso dentro de una empresa

El tema de industria 4.0 es relativamente nuevo y resulta complicado encontrar empresas que hayan implementado exitosamente las herramientas de la industria 4.0. Por esta razón, se propone generar escenarios de simulación de eventos discretos, que permitan visualizar los efectos de implementar herramientas 4.0 en los sistemas de surtimiento de empresas que aplican manufactura esbelta.

La figura 4, representa el modelo adaptado en ProModel por [García Garza et al., 2019]. Las condiciones de simulación se mantendrán igual a las consideradas por [García Garza et al., 2019], para ambos modelos, sistema original sin herramientas 4.0 y sistema con herramientas 4.0 modificado. La representación del modelo de [García Garza et al., 2019] se puede apreciar adaptado al software FlexSim en la figura 5.



Figura 4 Representación del modelo adaptado en ProModel.

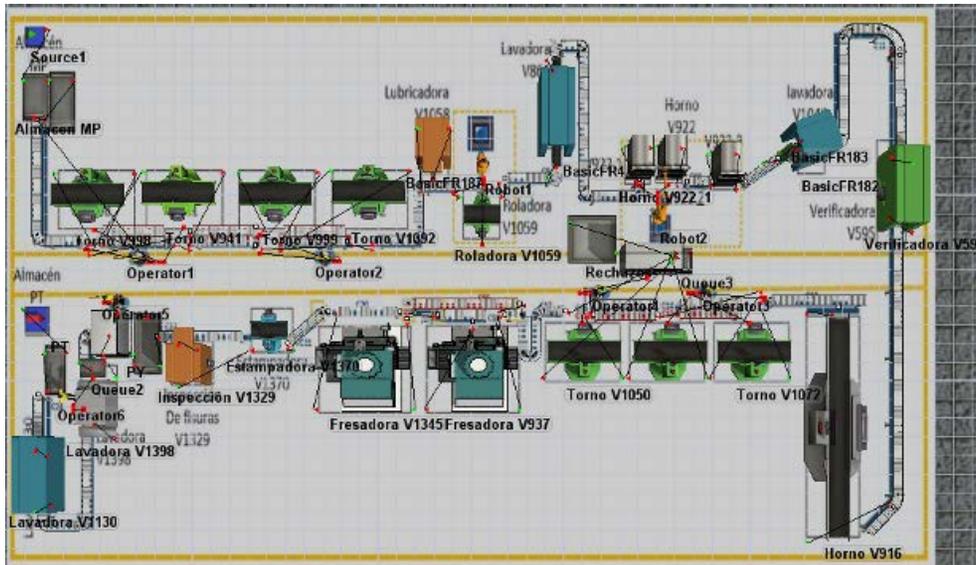


Figura 5 Modelo adaptado al software FlexSim.

Análisis del escenario de simulación aplicando herramientas 4.0 relacionadas al surtimiento de materiales

Se propone realizar cambios al modelo de simulación realizado por [García Garza et al., 2019]. El modelo original se creará con el propósito de representar los efectos que sufren los sistemas de producción, al ser implementadas las herramientas 4.0 en el sistema de surtimiento de materiales.

Análisis comparativo de resultados de los escenarios

En esta etapa se realizará un análisis de los resultados que arroja el software FlexSim para comparar el desempeño de cada uno de los modelos, donde se comparará el modelo adaptado en ProModel por [García Garza et al., 2019] frente al modelo creado en FlexSim con la implementación de herramientas 4.0 en el sistema de surtimiento de materiales.

Análisis de los resultados de los escenarios de la aplicación de herramientas 4.0 en un sistema de surtimiento de materiales

Con base en los resultados de la etapa de simulación. Se definirá la conveniencia en que se deben de implementar cada una de las herramientas de la industria 4.0 que se puedan aplicar.

3. Resultados

La recolección de datos se obtuvo en línea considerando el número de operarios, horarios de trabajo, llegadas de los materiales y la capacidad del proceso. La figura 6 expresa el ajuste de bondad de los datos del área de inspección (Calculado en automático con FlexSim y la prueba Anderson-Darling) tomados por los autores originales, se consideró un error del 0.5 y un nivel de confianza del 95%.

Con la ayuda de la herramienta “experiment control” de FlexSim, se realizó la simulación en 30 ocasiones del modelo original frente al modelo con las implementaciones 4.0 simulado. La figura 7 expresa el uso de la herramienta “experiment control” de FlexSim. El sistema con las implementaciones 4.0 simulado en FlexSim se expresa en la figura 8.

Data Characteristic	Value
Source file	T_Inspeccion
Observation type	Real valued
Number of observations	24
Minimum observation	10.52000
Maximum observation	16.53000
Mean	13.89875
Median	14.38000
Variance	3.67658
Coefficient of variation	0.13796
Skewness	-0.36010

Flexsim Representation of Model 1 - Beta

Use:

When using a picklist option:
 Distribution: Beta
 Minimum: 10.378920
 Maximum: 16.562198
 Shape1: 0.971727
 Shape2: 0.736100

When using code:
 beta(10.378920, 16.562198, 0.971727, 0.736100, <stream>)

Figura 6 Tamaño de muestra calculado en software FlexSim.

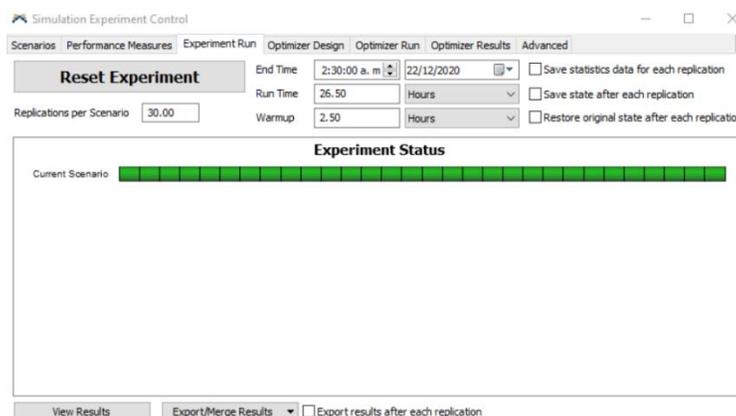


Figura 7 Herramienta experiment control de FlexSim.

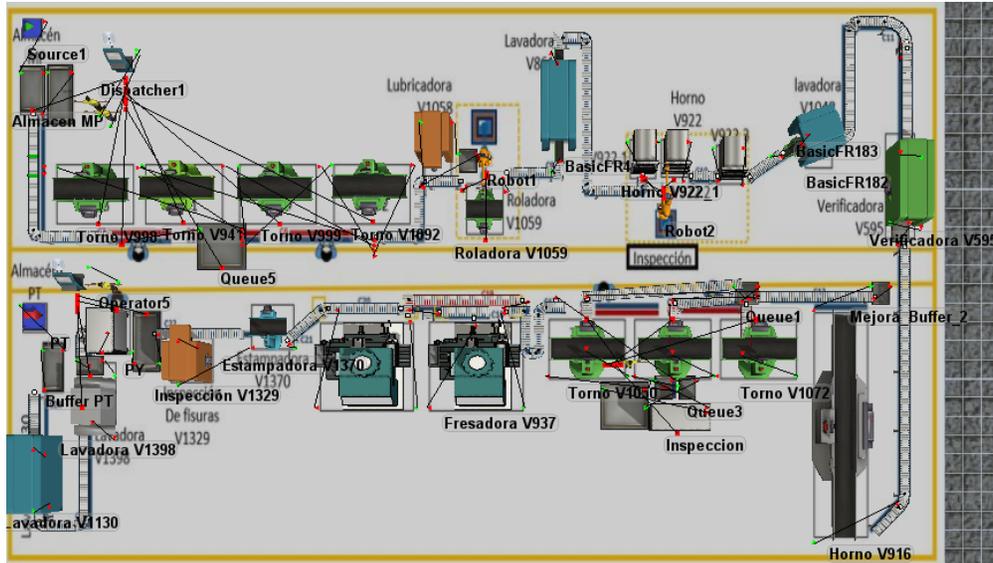


Figura 8 Modelo con implementaciones de mejora.

En el sistema, las herramientas de la industria 4.0 que están implícitas, son:

- Simulación: A partir de la simulación con FlexSim se implementó la herramienta “Experiment Control” para realizar 30 veces la repetición de cada simulación y manejar datos promedios, así también como para decidir el tamaño de cada buffer. La figura 9 expresa las pruebas realizadas a los 4 buffer por simulación con 10 cantidades diferentes a cada uno de los 4 buffer y el resultado fue dar capacidad de 50 al buffer 1, capacidad de 100 al buffer 2, capacidad de 10 al buffer 3 y capacidad de 100 al buffer 4.

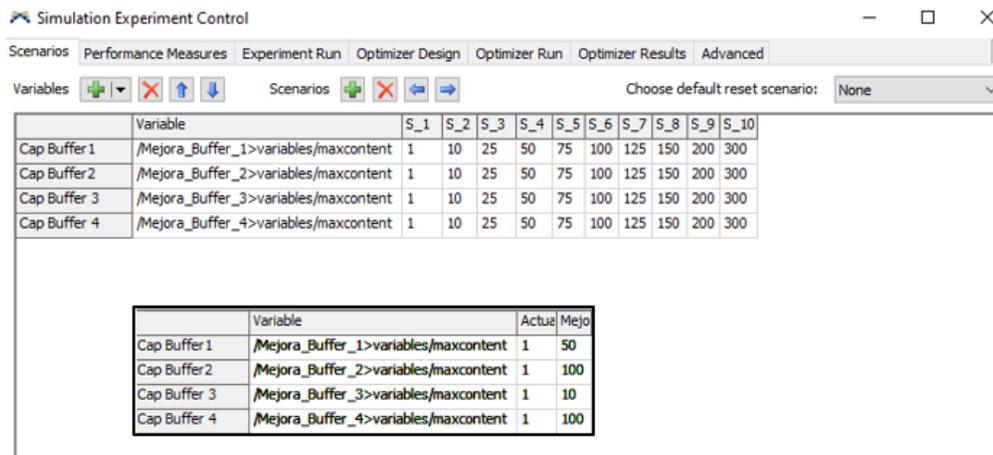


Figura 9 Optimización del tamaño de buffer mediante experiment Control.

La tabla 1 expresa la mejora con los buffers en porcentaje, esto representado para todo el sistema simulado. La tabla 2 expresa la mejora con los buffers con relación a las 4 máquinas que más presentaban bloqueo, lo que nos representa el reducir las esperas por falta de surtimiento de materiales en línea.

Tabla 1 Reducción del bloqueo en todo el sistema.

Indicador	Sin Buffer (media)	Modificado (media)	Mejora
Bloqueo máximo total	30.72%	11.09%	19.63%

Tabla 2 Relación del porcentaje de bloqueo en máquinas.

Máquina con bloqueo	Porcentaje sin 4.0	Porcentaje con 4.0	Mejora
Lubricadora V1058	25.27%	0%	25.27%
Horno V916	17.37%	9.69%	7.68%
Inspección	33.33%	4.31%	29.02%
Verificadora V595	31.88%	10.85%	21.03%

- Robots autónomos: El modelo cuenta con dos brazos robóticos y dos “dispatcher” interconectados al proceso que toman en automático la mejor decisión a través de datos que reciben de todo el sistema para asignar las tareas a los operadores.
- Big Data: La información del sistema llega a los “dispatcher” que capturan, archivan, y analizar los datos derivados del procesos.
- Cloud computing: Gracias a la incorporación de los “dispatcher” se incluye el monitoreo y funciones de control en tiempo real de la operación.
- Sistema integrado: Mediante la herramienta “Photo Eyes” de manera automática se identifica la necesidad de surtimiento a la entrada de la línea y envía una señal al “dispatcher” para realizar la acción más conveniente y marcar el Tick-Tock de producción.

Los resultados de la comparación entre modelos se muestran en la tabla 3, recordando que son resultados obtenidos de 30 simulaciones por cada uno de los modelos.

Tabla 3 Resultados de la comparación entre modelos.

Indicador	Sin 4.0 (media)	Con 4.0 (media)	Mejora (%)
Unidades producidas	3400	3700	(8.8%)
WIP total	1780	1480	(16.85%)
WIP promedio en espera	938	839	(10.55%)
WIP promedio en proceso	325	321	(1%)

4. Conclusiones

- En ese trabajo fue presentada una aplicación basado en el trabajo realizado por [García Garza et al., 2019]. La simulación discreta es una de las principales herramientas de la industria 4.0, que tiene el objetivo de reproducir el mundo físico en modelos computacionales. Para el caso estudiado un método de investigación fue definido y utilizado, como se explicó en la sección 2 (Métodos).
- El principal output del trabajo es tener un modelo que representa el baseline (la situación sin industria 4.0) y un escenario con aplicación de las herramientas 4.0 mediante simulación con el software FlexSim.
- Se pudo observar que mediante la aplicación de la manufactura 4.0 se implementa una mejora al proceso (sección 3, Resultados). La automatización junto al uso de inteligencia artificial (considerando en el flujo continuo de información), big data (la recopilación de base de datos permite despachos productivos), la digitalización (por medio de la conectividad) permite asegurar una administración mejor de los recursos.
- Los indicadores mostrados en la tabla 1 de la sección de resultados, son la prueba que con aplicación de las herramientas de la industria 4.0 se puede mejorar mucho el flujo de información y material en una fábrica.
- Para futuras investigaciones se recomienda el manejo de tiempos en relación con la duración y costo de la licencia de FlexSim, considerando el tipo de licencia para incluir ciberseguridad en su versión profesional que proporciona con su extensión Edinn Industry 4.0. Por ultimo mencionar que las bondades del software FlexSim que se acopla a las necesidades de la industria 4.0, fue de gran ayuda para realizar este trabajo.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Bertelsen, S., & Nielsen, J. (1997). Just-in-time logistics in the supply of building materials. Paper presented at International Conference on Construction Industry Development. Building the Future Together, Singapore.
- [2] Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2019). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150(1), 66-76. doi:10.1016/j.techfore.2019.119790.
- [3] Chung, W., & Swink, M. (2009). Patterns of advanced manufacturing technology utilization and manufacturing capabilities. *Prod. Oper. Manag.*, 18(5), 533–545. doi:10.1111/j.1937-5956.2009.01027.x.
- [4] García Garza, M. E., & Jiménez García, J. A. (2019). “Reducción del inventario en proceso en empresas manufactureras mediante un enfoque de teoría de restricciones y simulación de eventos discretos” (Maestría en ingeniería industrial). Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [5] Gershenfeld, N., & Euchner, J. (2015). Atoms and bits: rethinking manufacturing. *Conversations. Res. Technol. Manag*, 58(5), 16–21. doi:10.5437/08956308X5805003
- [6] Hendler, S. (2019). Digital-physical product development: a qualitative analysis. *European Journal of Innovation Management*, 22(2), 315-334. doi:http://10.1108/EJIM-01-2018-0026.
- [7] Hua, S.Y. and Johnson, D.J., 2010. Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking. *International Journal of Production Research*, 48 (3), 779–800
- [8] Luściński, S. ł., & Ivanov, V. (2020). A simulation study of industry 4.0 factories based on the flexibility with using FlexSim. *Management and Production Engineering Review*, 11(3), 74-83. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.134934>.
- [9] Nava, Francisca, Alva, Rodrigo, Flores, Francisco y Baltazar, Carlos. Procesos dinámicos de surtimiento desde la administración ABC de inventarios. *Revista de Estrategias del Desarrollo Empresarial*. 2016, 2-5: 57-73.

- [10] M. Beaverstock, A. G. Greenwood, E. Lavery, y W. Nordgren. Applied simulation Modeling and Analysis using FlexSim, 3a ed., FlexSim Software Products, Inc., Orem USA, 2012.
- [11] Riedl, M., Zipper, H., Meier, M., & Diedrich, C. (2014). Cyber-physical systems alter automation architectures. *Annual Reviews in Control*, 38(1), 123–133. doi:10.1016/j.arcontrol.2014.03.012
- [12] Roblek, V., Mesko, M., & Krapez, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), 1–11. doi:10.1177/2158244016653987
- [13] Tuptuk, S. (2018). Security of smart manufacturing systems. *Manuf. Syst.*, 47(4), 93–106. doi:10.1016/j.jmsy.2018.04.007
- [14] Zalewski R. (2010). Will the new trends generate innovation Will boost cooperation science – industry?. *Marketing i Rynek* 2010;12.