

OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS TRANSACCIONALES EN LOGÍSTICA CON ENFOQUE EN HEIJUNKA PARA BALANCEO DE PRODUCCIÓN

OPTIMIZATION OF TRANSACTIONAL SYSTEMS IN LOGISTICS WITH A FOCUS ON HEIJUNKA FOR PRODUCTION BALANCE

Barush Rolando Esqueda Hernández

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
M2203052@itcelaya.edu.mx

Vicente Figueroa Fernández

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

Salvador Hernández González

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

José Alfredo Jiménez García

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

Recepción: 20/noviembre/2023

Aceptación: 14/febrero/2024

Resumen

En el presente trabajo, se hace uso del software ProModel para desarrollar un modelo de simulación de una ensambladora hipotética. Así mismo, analizar el proceso de transacciones logísticas, desde el almacén de materiales hasta el producto final, bajo un sistema de producción de manufactura esbelta. El flujo eficiente de materiales es esencial para la continuidad de la producción, desempeñando un papel vital en la coordinación y gestión de operaciones logísticas. En el escenario de simulación, se aborda el balanceo de producción denominada Heijunka, se identifican cuellos de botella y se evalúa la demanda de recursos, manteniendo bajos niveles de inventario en proceso. Se implementaron estrategias para mejorar la coordinación y gestión logística, minimizando errores y optimizando tiempos de procesamiento. Este enfoque cumple con los principios de la filosofía de manufactura esbelta, garantizando una producción eficiente y sin interrupciones,

respaldando así la optimización de procesos y la eficacia en la cadena de suministro.

Palabras Clave: Heijunka, Simulación, Sistemas logísticos, Sistemas transaccionales.

Abstract

In this work, the ProModel software is used to develop a simulation model of an assembly line and analyze the process of logistical transactions, from the materials warehouse to the final product, under a lean manufacturing production system. Efficient material flow is essential for production continuity, playing a vital role in coordinating and managing logistical operations. In the simulation scenario, production leveling, known as Heijunka, bottlenecks are identified, and resource demand is evaluated, maintaining low levels of work-in-progress inventory. Strategies are implemented to enhance logistical coordination and management, minimizing errors and optimizing processing times. This approach adheres to the principles of lean manufacturing philosophy, ensuring efficient and uninterrupted production, thereby supporting process optimization and effectiveness in the supply chain.

Keywords: *Heijunka, Simulation, Transactional systems, Logistics systems.*

1. Introducción

La Manufactura Esbelta representa una filosofía empresarial integral que va más allá de simplemente producir bienes de manera eficiente. Este enfoque busca una optimización holística de los recursos, promoviendo la eficiencia en términos de tiempo, espacio, esfuerzos humanos, maquinaria y materiales. “Su esencia radica en la premisa de hacer más con menos, siempre y cuando se cumplan las necesidades del cliente” [García et al., 2006]. En la actualidad, este concepto se ha erigido como un pilar estratégico para las empresas, no solo en términos de mejora de productividad, sino también como una estrategia para mantener la competitividad en un entorno de negocios globalizado y en constante cambio. La adaptabilidad se presenta como una habilidad fundamental para cualquier organización,

independientemente de su orientación hacia la fabricación o los servicios. La capacidad de ajustarse sistemáticamente a las cambiantes demandas del mercado, variando la oferta de productos, manteniendo precios competitivos y asegurando entregas puntuales, es crucial para maximizar el valor agregado del producto [Villaseñor & Galindo, 2007].

Aquí, el valor agregado se define por aquellas actividades que transforman la materia prima o información a través de múltiples fases, añadiendo un componente significativo al producto final para satisfacer las expectativas del cliente. En este contexto, la optimización busca minimizar el tiempo dedicado a operaciones que no contribuyen directamente al valor del producto, como el transporte de materiales, aunque sea necesario para la continuidad de las células de producción [Liker, 2004]. El compromiso de los líderes y tomadores de decisiones emerge como un factor crítico, ya que sus elecciones moldean el futuro y la viabilidad a largo plazo de la organización [Socconini, 2008]. En este panorama, la simulación de procesos surge como una herramienta fundamental para la toma de decisiones empresariales. Al permitir pruebas y experimentaciones sin interrumpir las operaciones directas en el lugar de trabajo, la simulación se convierte en un punto de arranque para analizar sistemas de producción y adoptar decisiones informadas, que se lleva de la mano con la mejora continua [Gisber Soler, 2015].

La simulación, como método de análisis de sistemas, se caracteriza por la creación de modelos computarizados que describen el comportamiento del sistema en cuestión. La variabilidad de los modelos de simulación puede depender del tipo de espacio de estados, que puede ser discreto o continuo [Himmelblau & Bischoff, 2004]. Además de su capacidad para recrear escenarios, la simulación brinda una perspectiva valiosa sobre el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo [Chi et al., 2015].

En este proyecto específico, la elección del software ProModel para la simulación se basó en su reconocimiento como uno de los simuladores de procesos más utilizados en la industria. ProModel, con su capacidad de animación y la posibilidad de simular una amplia gama de sistemas, desde manufactura hasta logística y manejo de materiales, emerge como una herramienta versátil [Promodel, s.f].

Tras construir el modelo, se abre la puerta para mejoras y ajustes destinados a determinar los valores óptimos de los parámetros clave. Este proceso representa una inversión estratégica en la capacidad de la organización para visualizar escenarios, identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas, sin incurrir en los riesgos asociados con experimentaciones directas en el entorno de producción.

El artículo aborda la optimización de sistemas transaccionales en logística, con un enfoque detallado en Heijunka para el balanceo de la producción. Heijunka, o producción nivelada, no solo es una práctica dentro de la filosofía de manufactura esbelta; es un principio rector que busca eliminar desequilibrios en la producción, reducir desperdicios y optimizar el uso de recursos de manera integral [İşler & Güner, 2014].

El corazón de este trabajo reside en la propuesta de combinar la simulación en ProModel con los principios de manufactura esbelta para ilustrar de manera tangible la optimización de sistemas transaccionales en logística. Aquí, Heijunka se convierte en el protagonista, ya que su aplicación eficaz puede llevar a un balance de la producción que no solo minimiza los tiempos de operación, operativos, transporte de materiales, sino que también busca crear un flujo de trabajo más eficiente y equitativo.

Este enfoque integral implica no solo la eficiencia operativa, sino también la maximización de la calidad del producto y la satisfacción del cliente. La idea subyacente es que la producción nivelada permite una respuesta más ágil a la variabilidad en la demanda del mercado, reduciendo los niveles de inventario y minimizando los costos asociados.

La simulación en ProModel, en este contexto, no solo se convierte en una herramienta técnica, sino en una aliada estratégica en el proceso de toma de decisiones. Al proporcionar una representación virtual del sistema de producción, la simulación permite experimentar con diversas estrategias sin arriesgar la continuidad de la producción en el piso de trabajo. Este enfoque se alinea perfectamente con la filosofía de mejora continua, donde la capacidad de adaptarse y evolucionar se convierte en un elemento clave para el éxito a largo plazo.

El análisis de sistemas transaccionales en logística, respaldado por la simulación en ProModel, no solo se enfoca en la eficiencia individual de las operaciones, sino que también busca optimizar la cadena de suministro en su conjunto. Este enfoque sistémico reconoce la interconexión de diversas operaciones y procesos en la cadena de suministro y busca mejoras que beneficien a toda la organización [Balza-Franco & Cardona-Arbeláez, 2020].

Revisión estado del arte

La simulación de procesos (*lean manufacturing*), según expone [Ali et al., 2014], se enfoca en el equilibrio de líneas, En el ámbito empresarial, se emplea la teoría fundamental para asegurarnos de que el tiempo dedicado a cada tarea se adapte al ritmo deseado por la empresa. Esto significa ajustar los tiempos de las actividades para que encajen con el tiempo ideal establecido por la empresa. El objetivo es cumplir con los requisitos promedio de producción de unidades de manera eficiente. De manera similar a lo abordado por [Selen & Ashayeri 2001], donde se examina la implementación de mejoras en una célula de manufactura a través de la simulación para hacer el proceso más eficiente, se crearon diversos escenarios que revelaron mejoras significativas, ofreciendo datos valiosos para la toma de decisiones informadas y eficaces. En el estudio presentado por [Lian & Landeghem, 2002], se describe la aplicación de la simulación del mapeo de flujo de valor, destacando las ventajas de transformar una organización hacia un modelo esbelto, mediante la incorporación de herramientas del sistema *lean manufacturing*. Se observaron los efectos antes de la implementación, minimizando los costos asociados.

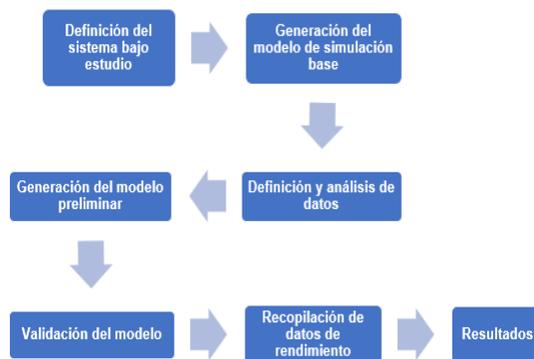
La propuesta presentada por [Valentín et al., 2012] Aborda un proyecto para reducir desperdicios en el ensamblaje de la cabeza de una cánula, identificando y solucionando problemas de productos defectuosos. Los resultados demostraron que el modelo de simulación propuesto era coherente con el sistema real, permitiendo la generación de diversos escenarios para determinar la mejor opción y facilitar la toma de decisiones, especialmente en la reducción del desperdicio. Según [Tako & Robinson, 2012], se generó una simulación de sistemas dinámicos como herramientas de análisis y toma de decisiones para el manejo de la cadena

de suministro. Ofreciendo ideas valiosas sobre diferentes escenarios de simulación, dándole un gran valor a la simulación como un sistema un pilar para la toma de decisiones en el ámbito de la logística y la cadena de suministro.

El modelo de simulación presentado por [Xia & Sun, 2013] ilustra el mapeo de cadena de valor para la toma de decisiones. Este modelo resalta las ventajas de la simulación de sistemas esbeltos, permitiendo una mejor comprensión y mejora continua de los conceptos *lean*. Por último, en el artículo presentado por [Obreque & Salazar, 2009] se desarrolló un modelo de simulación para prever la eficiencia de las máquinas y la ocupación de los operarios. Los resultados indicaron que la aplicación de este modelo permitió reducir el sobretiempo, equilibrar la carga de trabajo de los operarios y mejorar la puntualidad en la entrega de productos. Esto condujo a una supervisión más directa de los centros de trabajo, permitiendo la asignación oportuna de recursos, reduciendo costos laborales y aumentando la eficiencia real de las máquinas.

2. Métodos

El método empleado en esta investigación se describe en la figura 1, la cual nos menciona los pasos a seguir para el desarrollo de la investigación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1 Metodología de la Investigación.

Definición del sistema bajo estudio

En el marco del modelo de simulación se hace referencia a la estructura y dinámica de los procesos logísticos y transaccionales vinculados con la producción.

Este sistema abarca una red interconectada de actividades y transacciones que tienen lugar en el contexto logístico, con un enfoque preciso en la producción y en el flujo de productos a lo largo de la cadena de suministro.

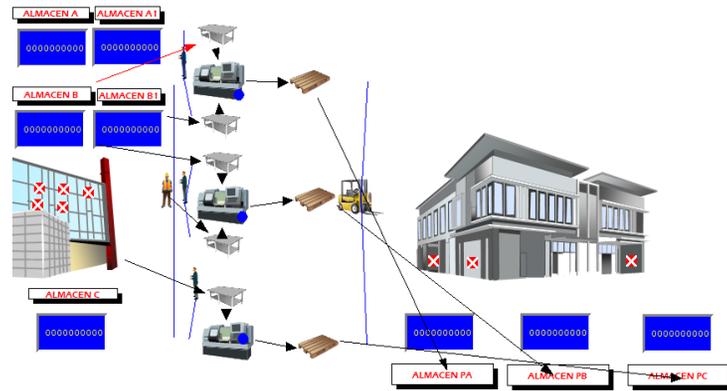
La optimización se centra en mejorar la eficiencia y la continuidad de este sistema transaccional logístico. Específicamente, se destaca la implementación de Heijunka, una práctica fundamental dentro de la filosofía de manufactura esbelta. Heijunka persigue la eliminación de desequilibrios en la producción, la minimización de desperdicios y la optimización del uso de recursos. Dentro de este contexto, la optimización implica ajustes en el sistema con el objetivo de lograr un flujo de trabajo más equitativo y eficiente, evitando posibles cuellos de botella y mejorando la capacidad de respuesta ante las demandas del mercado.

Suponiendo el empleo de ProModel para llevar a cabo una simulación, el sistema bajo estudio abarcará diversas etapas del proceso de producción, puntos de transacción, gestión de inventario, logística y otros elementos fundamentales de la cadena de suministro. La simulación en ProModel permitirá modelar de manera virtual este complejo sistema transaccional, posibilitando la evaluación del impacto de cambios propuestos, tales como la implementación de Heijunka para el balanceo de la producción.

Generación del modelo de simulación base

El segundo paso de esta investigación consistió en formular un modelo inicial para la simulación. Este modelo proporcionó un punto de partida crucial para la programación del sistema. En la figura 2, se presenta el modelo de simulación inicial que ilustra la disposición de las líneas y las rutas para el desplazamiento de los recursos de abastecimiento, recurso de procesos, así como el recurso encargado del almacenamiento de los productos finales.

En la elaboración del modelo inicial, se asignaron ubicaciones específicas en las cuales destacan los ensambles, el almacén de materias primas (ubicado parte izquierda), el almacén de productos terminados (ubicado en la parte derecha) y la red por la cual se movieron los recursos de surtimiento, producción y almacenaje (señalizada por líneas azules).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Modelo base.

Definición y análisis de datos

En la etapa de definición de datos, se establecieron las distancias entre las locaciones para configurar la red por la cual se desplazarán los recursos, conocidos como surtidores, operadores y montacarguistas. Los recursos empleados cuentan con especificaciones detalladas, que incluyen la velocidad con carga en metros por minuto (m/min), la velocidad del recurso en vacío también en m/min, así como el tiempo requerido para levantar y depositar. Esta información se condensa de manera concisa en la tabla 1.

Tabla 1 Especificaciones de los recursos utilizados.

Recurso	Especificaciones			
	Velocidad vacío	Velocidad lleno	Tiempo carga	Tiempo descarga
Surtidor	140 m/min	100 m/min	5 s	5 s
Operadores	170 m/min	100 m/min	2 s	2 s
Montacargas almacén	160 m/min	130 m/min	10 s	15 s

Fuente: Elaboración propia

El tiempo ciclo por línea representa un elemento crítico para determinar la duración de producción que debe ser considerada en cada ejecución de la simulación. Los tiempos ciclos de este modelo se derivarán de un modelo hipotético en el cual la demanda mensual asciende a 12,000 unidades, con una jornada laboral de 22 días al mes y un período de trabajo diario de 8 horas. Un aspecto relevante para representar de manera fiel una corrida de producción son los tiempos de paro, los cuales suman 50 minutos diarios dentro de la jornada laboral de 8 horas.

En este contexto, se emplea la fórmula para calcular el Tiempo *Tack* la cual se puede observar en la ecuación 1, haciendo uso de datos previamente recopilados. Donde *T.T* es el tiempo Tack, *TD* tiempo productivo disponible y *D* la demanda. Este enfoque facilita la obtención de mediciones precisas y significativas, contribuyendo de manera esencial a la evaluación integral del proceso en cuestión [Mora et al., 2014].

$$T.T = \frac{TD}{D} \tag{1}$$

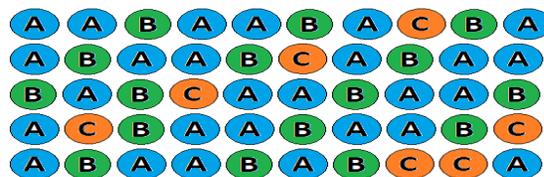
Para ilustrar el balanceo de producción, se utilizó una caja Heijunka en las líneas de producción, empleándose la misma para tres líneas que fueron objeto de simulación. La tabla 2 exhibe la caja Heijunka utilizada, la cual detalla la cantidad de unidades a producir de cada modelo, en esta se especifica los requerimientos mensuales y se desglosa los requerimientos por día de cada producto, dado que no se tienen datos exactos se agrega un apartado en el cual se habla de un redondeo, para lograr tener cantidades exactas.

Tabla 2 Caja Heijunka.

	Producto A	Producto B	Producto C
Necesidad mensual	6000	4000	2000
Necesidad diaria	272.73	181.8	90.91
Redondeo	272	181	90

Fuente: Elaboración propia

Con fines prácticos, se optó por utilizar 50 Tiempos *Tack*. La figura 3 representa visualmente como es la planificación de la producción donde cada producto cuenta con una duración de 47.30 segundos, el cual se obtuvo mediante la ecuación 1, con la expectativa de que una unidad sea producida dentro de ese intervalo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Planificación de la producción con Heijunka.

Por tanto, suponiendo 50 ciclos, se estaría contemplando una producción de un intervalo de tiempo de 39 minutos de una jornada laboral.

Generación del modelo preliminar

En la configuración de los componentes logísticos en la simulación de sistemas transaccionales, se deben considerar diversos aspectos para reflejar de manera precisa el comportamiento y las características de cada componente:

- Capacidades y recursos: Definir la capacidad máxima de los almacenes y centros de producción en términos de espacio de almacenamiento o capacidad de producción. Especificar los recursos disponibles en cada componente, como máquinas, personal o equipos de manejo de materiales.
- Tiempos de procesamiento: Establecer los tiempos requeridos para procesar diferentes transacciones o actividades, como el tiempo de descarga de materias primas, el tiempo de producción de un producto o el tiempo de preparación de un pedido.
- Reglas de enrutamiento y flujo: Definir las rutas y flujos de movimiento de materiales y productos dentro del sistema logístico, incluyendo el enrutamiento de productos entre almacenes o la secuencia de operaciones en un centro de producción.

En este estudio, empleamos ProModel para simular la optimización de sistemas transaccionales en logística, con un enfoque específico en el método Heijunka para el balanceo de la producción.

Es importante señalar que este proceso es ficticio, aunque su viabilidad para su implementación en un entorno real es considerable.

El modelo en cuestión consta de diversos componentes que desempeñan roles específicos en su funcionamiento. En primer lugar, se identifican cinco fuentes de llegada de materia prima, designadas como pieza A, pieza A1, pieza B, pieza B1 y pieza C. Estas piezas se suministran a través de un surtidor destinado a alimentar las líneas de producción. Dichas líneas, numeradas como Línea 1, Línea 2 y Línea 3, cuentan con un trabajador asignado cada una, totalizando tres trabajadores en el

sistema. Además, se han establecido tres estantes destinados a productos terminados, uno para cada tipo de producto.

En términos de parámetros, la simulación abarca un lapso temporal de 0.65 horas. La tasa de llegada de materia prima se rige por la distribución exponencial, siendo de 100 piezas para cada tipo cada 2 horas. El tiempo de ensamblaje en las líneas de producción varía, con 47.30 segundos para la Línea 1 y la Línea 2, mientras que la Línea 3 emplea el mismo tiempo para su proceso.

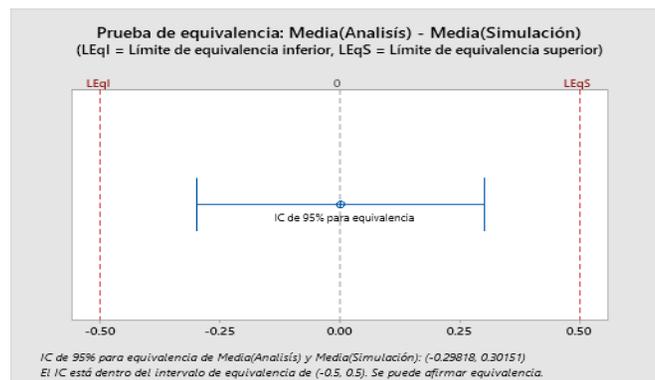
En cuanto a las reglas y el flujo del modelo, las piezas A, A1, B, B1 y C llegan a las fuentes de llegada conforme a la tasa establecida. El surtidor distribuye estas piezas a las líneas de producción correspondientes. En la Línea 1, se ensamblan las piezas A y A1 con una frecuencia de 1.57 segundos, seguido de un tiempo de ensamblaje de 47.30 segundos. Similarmente, en la Línea 2, se ensamblan las piezas B y B1 con una frecuencia de 2.36 segundos, mientras que en la Línea 3, la pieza C se procesa con una frecuencia de 4.73 segundos, seguido de un tiempo de procesamiento de 47.30 segundos. Los productos terminados se colocan en los estantes correspondientes, y el montacargas se encarga de recogerlos para posteriormente ubicarlos en el almacén de productos terminado

Con esta implementación del modelo de simulación, es posible evaluar y analizar el rendimiento del sistema logístico, así como controlar la producción y garantizar la disponibilidad de las piezas requeridas al mes. Además, es relevante destacar la aplicación de principios Heijunka para observar y ajustar los tiempos de procesamiento, el flujo de materia prima y productos terminados, así como la óptima utilización de los trabajadores y recursos.

Validación del modelo de simulación

La validación del modelo se llevó a cabo mediante una prueba de equivalencia con datos pareados. Esta técnica de análisis implicó un desarrollo del modelo Heijunka en forma analítica obteniendo datos de salida mediante esta forma se dio la comparación con los datos analíticos del modelo de simulación. La comparación reveló similitudes entre los resultados obtenidos tanto del sistema analítico como del modelo de simulación.

En la fase final de validación, se implementó un procedimiento de prueba de hipótesis de diferencia de medias utilizando el software Minitab. Los resultados indicaron que la cantidad promedio de productos obtenidos del sistema analítico es similar a la cantidad generada por el modelo de simulación. Esta conclusión se presenta visualmente en la figura 4. Se estableció un nivel de significancia $\alpha=0.05$, con una hipótesis nula que afirmaba que las medias poblacionales de ambos sistemas son iguales. El resultado mostró un valor de $p= 0.020$. Lo que sugiere que hay suficiente evidencia estadística con la que se puede afirmar la equivalencia entre ambos sistemas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4 Validación del modelo de simulación.

Recopilación de datos de rendimiento

En la fase de recopilación de datos de rendimiento de la simulación, es fundamental capturar y reunir información pertinente que permita una evaluación exhaustiva del desempeño y la eficiencia del sistema. Estos datos se presentan detalladamente en la sección de resultados, y entre los aspectos clave que deben recopilarse se encuentran los tiempos de procesamiento. Esto implica registrar con precisión los tiempos de ensamblaje en cada etapa del sistema logístico, centrándose particularmente en las líneas de producción.

Adicionalmente, es esencial obtener datos sobre los tiempos de espera de las piezas en cada fase del proceso y los tiempos de espera de los productos terminados en los estantes. Esta información proporcionará una visión completa de la eficiencia temporal y permitirá identificar posibles áreas de mejora.

Otro aspecto crítico por considerar en la recopilación de datos es la utilización de recursos. Registrar la carga de trabajo de los trabajadores en cada línea de producción es esencial para comprender la eficiencia operativa. Además, se debe recopilar información detallada sobre la disponibilidad y utilización de máquinas, equipos de manejo de materiales y el montacargas, contribuyendo así a una gestión más efectiva de los recursos.

El monitoreo de los niveles de inventario y *stock* constituye otro punto crucial. Esto implica registrar los niveles de inventario de las materias primas en el almacén central y de los productos terminados en los estantes y el almacén de productos terminados. Se busca obtener información precisa sobre el cumplimiento de los niveles de *stock* objetivo y evaluar la necesidad de reabastecimiento para mantener un flujo eficiente de producción.

Finalmente, en el proceso de evaluación de la eficiencia y los tiempos de ciclo, se deben calcular los tiempos de ciclo en cada línea de producción, desde la llegada de la materia prima hasta la finalización del producto terminado. Este análisis permitirá evaluar la eficiencia general del sistema logístico, considerando la relación entre los tiempos de procesamiento y los tiempos de espera, proporcionando así una visión integral del rendimiento del sistema.

3. Resultados

Después de haber llevado a cabo la simulación utilizando la información recopilada, se lograron extraer datos significativos. Estos resultados proporcionan una visión detallada y precisa de los diversos aspectos que fueron objeto de estudio durante la simulación.

Tiempos de procesamiento

La tabla 3 refleja la cantidad de piezas que se encuentran en el sistema y cuantas piezas de las que se tenían en el sistema salieron como producto terminado, mientras que el tiempo de procesamiento en las líneas ensamblaje se detalla en la tabla 4. Los datos recopilados revelan que el proceso C exhibe un tiempo promedio superior en comparación con los ensambles uno y dos. Esto resulta en un mayor

tiempo de espera para el procesado para la pieza C, influenciado por la frecuencia más elevada de llegada de material debido a que es uno de los requisitos específicos de esta línea de producción ya que esta línea tiene una programación de producción más baja a comparación de los dos ensambles.

Tabla 3 Piezas y productos finales.

Nombre	Cantidad en el sistema	Total de salidas
PIEZA A	72	27
PIEZA A1	72	27
PIEZA B	83	16
PIEZA B1	83	16
PIEZA C	92	8
PRODUCTO A	27	27
PRODUCTO B	16	16
PRODUCTO A	8	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Tiempo de ensamblaje.

Nombre	Tiempo Programado (Min)	Capacidad	Total, Entradas	Tiempo por entrada Promedio (s)
Ensamble 1	39.17	1.00	27	83.19
Ensamble 2	39.17	1.00	16	136.18
Proceso 3	39.17	1.00	8	223.88

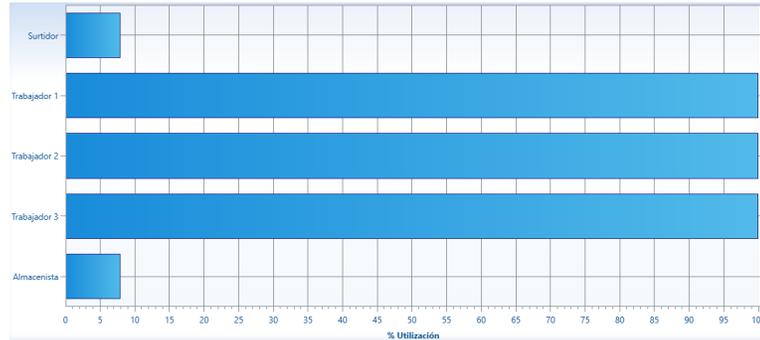
Fuente: Elaboración propia

Utilización de los recursos

La figura 5 representa la utilización de los recursos de forma gráfica, la cual nos muestra los estados de cada uno de nuestros recursos en el siguiente orden: surtidor, operario 1, operario 2, operario 3 y almacenista que es el encargado de usar el montacargas para transportar los productos finales. Esto con el fin de tener una referencia de la carga de trabajo y posibles mejoras.

En el análisis detallado de la figura 5, se evidencia de manera clara que los trabajadores asignados a las líneas de producción están experimentando una demanda de trabajo significativamente elevada. Esta situación plantea la preocupación de que dicho exceso de demanda laboral podría estar contribuyendo a una disminución en la eficiencia y la producción de productos terminados en la cadena de ensamblaje. Como respuesta a esta inquietud, la figura 6 ha sido diseñada para proporcionar una visión más profunda de la situación, centrándose en la disponibilidad y utilización de las máquinas en diferentes etapas del proceso

productivo. El objetivo principal de esta evaluación es identificar de manera precisa los puntos críticos o cuellos de botella que podrían estar limitando la capacidad total del sistema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Uso de recursos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6 Disponibilidad y utilización de ensambles.

Al examinar detalladamente la figura 6, se confirma que los cuellos de botella se concentran predominantemente en las etapas de ensamblaje, con un porcentaje promedio de utilización de las máquinas del 96.87%. Este hallazgo es crucial, ya que señala claramente un área específica donde se puede implementar mejoras para optimizar la eficiencia y aumentar la producción en el conjunto del sistema.

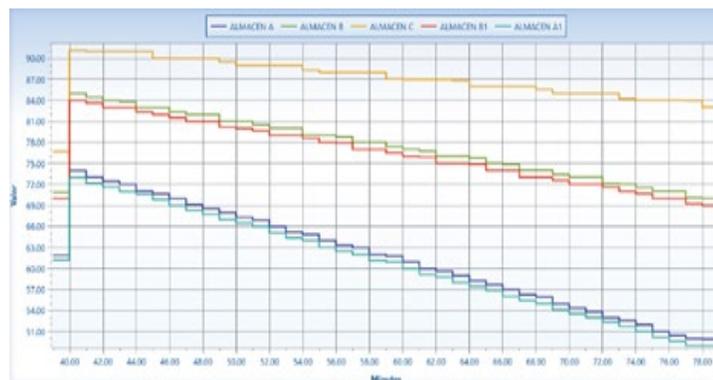
Inventario y niveles de stock

En la simulación del sistema logístico, se implementaron variables para registrar y cuantificar los niveles de inventario de las materias primas en el almacén central, así como los productos terminados en los estantes y el almacén de productos

terminados. Se utilizó un enfoque basado en transacciones para realizar un seguimiento preciso de las entradas y salidas de inventario.

Para esclarecer el procedimiento, en la figura 7 se ilustra el registro de transacciones de recepción en el almacén central, documentando la cantidad de cada tipo de materia prima que ingresaba al sistema. Estas transacciones se redujeron en función de la cantidad utilizada en la producción, permitiendo así el monitoreo continuo del nivel actual de inventario de cada materia prima.

Se utilizaron variables separadas para medir y registrar los productos finales obtenidos en la línea de producción tabla 5.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Transacciones almacén principal.

Tabla 5 Piezas y productos finales.

Nombre	Producto terminado
PRODUCTO A	25
PRODUCTO B	17
PRODUCTO C	8

Fuente: Elaboración propia

Cada vez que se completaba un producto terminado, se registraba una transacción de salida del proceso de producción. Estos datos permitieron tener un seguimiento detallado de la cantidad de productos terminados generados en cada ciclo de producción.

A través de esta segmentación de datos, se logró extraer información significativa acerca del desplazamiento de materias primas y productos finales en el sistema logístico. Este análisis brindó una perspectiva nítida de las transacciones logísticas

en un sistema logístico fundamental, así como del empleo de la herramienta de Heijunka. En esencia, se resume en la gestión eficiente de las materias primas y la producción efectiva de productos terminados.

4. Discusión

La investigación llevada a cabo destaca la importancia significativa de la optimización de sistemas transaccionales en el ámbito logístico, con un enfoque centrado en la implementación de Heijunka para el balanceo de la producción. Esta estrategia se revela como una herramienta excepcionalmente valiosa, según los hallazgos del estudio. Las simulaciones desplegadas no solo logran replicar con precisión situaciones del mundo real, sino que también ofrecen una perspectiva única para abordar y resolver desafíos empresariales.

En el contexto específico de la logística, la herramienta Heijunka emerge como un componente esencial para la optimización y la mejora de la eficacia en el proceso de toma de decisiones.

El caso de estudio resalta de manera clara y contundente la relevancia crítica de las simulaciones para analizar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas logísticos. Al emplear Heijunka en estas simulaciones, se logra una mayor riqueza en los resultados, lo que ha llevado a la sugerencia de realizar un diseño de experimentos (DOE) en futuras investigaciones.

El diseño de experimentos propuesto tiene como objetivo maximizar las salidas de productos terminados de acuerdo con la demanda del mercado. Esta estrategia apunta a lograr un equilibrio óptimo en el reabastecimiento de materias primas, lo que, en última instancia, contribuirá a la eficiencia global de la cadena de suministro. La combinación de la herramienta Heijunka y el enfoque del diseño de experimentos promete abrir nuevas vías para la mejora continua y la adaptación ágil a las dinámicas cambiantes del mercado.

5. Conclusiones

La capacidad de simular y analizar sistemas transaccionales, respaldada por herramientas como Heijunka, ofrece ventajas significativas en términos de

optimización y reducción de costos. La inclusión de Heijunka ha contribuido de manera crucial a obtener resultados precisos y a formular estrategias más efectivas. Esta herramienta, al proporcionar un enfoque sistemático para la nivelación de la producción, se destaca como un elemento fundamental en la búsqueda de la excelencia operativa y la mejora continua en el panorama empresarial actual. La capacidad para realizar ajustes basados en datos concretos fortalece la resiliencia empresarial y la capacidad de respuesta a los desafíos dinámicos del mercado siendo un diferenciador clave para la optimización continua de procesos y la maximización de la rentabilidad en el sector industrial.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Ali, N. B., Petersen, K., & Claes, W. (2014). A Systematic Literature Review on the Industrial use of Software Process Simulation. *The Journal of Systems and Software* 97, 65 - 85.
- [2] Balza-Franco, V. I., & Cardona-Arbeláez, D. A. (2020). La relación entre logística, cadena de suministro y competitividad: una revisión de literatura. *Revista ESPACIOS*. ISSN, 798, 1015.
- [3] Chi, R. I. G., Álvarez, A. E., & Cárdenas, G. E. I. (2015). Uso de la herramienta de software ProModel como estrategia didáctica en el aprendizaje basado en competencias de simulación de procesos y servicios. *Tectzapic*.
- [4] García, E., García, H., & Cárdenas, L. E. (2006). *Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel*. México: Pearson Educación de México S.A. de C.V
- [5] Gisbert Soler, V. (2015). Lean manufacturing. Qué es y qué no es, errores en su aplicación e interpretación más usuales. *3C Tecnología*, 4(1).
- [6] Himmelblau, D. M., & Bischoff, K. B. (2004). *Análisis y Simulación de Procesos*. Barcelona: Reverté, S.A.
- [7] İşler, M., & Güner, M. (2014). Heijunka Technique from lean production tools and its apparel applications. In *Int. Izmir Text. Appar. Symp* (pp. 353-356).
- [8] Lian, Y.-H., & Landeghem, H. V. (2002). An Application of Simulation and Value Stream Mapping in Lean Manufacturing. *Proceedings 14th European Simulation Symposium*.

- [9] Liker, J. K. (2004). *The Toyota way*. New York: McGraw-Hill.
- [10] Mora, B. I. R., Olguín, I. J. C. P., Limón, M. J. A. P., & Gaxiola, M. C. C. F (2014). Aplicación de técnicas de ingeniería industrial en el mejoramiento de un proceso de manufactura. *Ingeniería de procesos: casos prácticos*, 6.
- [11] Obreque, D., & Salazar, E. (2009). Estimación de la Eficiencia en Maquinas Trefiladoras Mediante Simulación Montecarlo. Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
- [12] ProModel. (s.f.). ProModel. Recuperado el 26 de 10 de 2023, de ProModel: <http://www.promodel.com.mx/promodel.php>.
- [13] Selen, W. J., & Ashayeri, J. (2001). Manufacturing Cell Performance Improvement: a Simulation Study. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 169 - 176.
- [14] Socconini, L. (2008). *Lean Manufacturing, Paso a Paso*. Tlanepantla: Norma Ediciones, S.A. de C.V.
- [15] Tako, A. A., & Robinson, S. (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems* 52, 802–815.
- [16] Valentín, F. M., Olguín, I. J. C. P., Sánchez, M. M. R., & Limón, M. J. A. P. Reducción de desperdicio utilizando herramientas lean. *Memorias de estadía industrial*, 60.
- [17] Villaseñor, A., & Galindo, E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing*. México: Limusa.
- [18] Xia, W., & Sun, J. (2013). Simulation Guided Value Stream Mapping and Lean Improvement: A Case Study of a Tubular Machining Facility. *Jiem*, 456 - 476.