

# **COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS IDENTIFICADOS DE LAS FILOSOFÍAS TOC Y JIT, INDICADORES Y VARIABLES MEDIANTE ESCENARIOS DE SIMULACIÓN**

*COMPARISON OF IDENTIFIED PARAMETERS OF TOC AND JIT PHILOSOPHIES, INDICATORS AND VARIABLES THROUGH SIMULATION SCENARIOS*

**Laura Teresa Rosado Gómez**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*rosado.gomezl@gmail.com*

**José Alfredo Jiménez García**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*alfredo.jimenez@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*

**Edgar Augusto Ruelas Santoyo**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*edruelas@itesi.edu.mx*

**Recepción:** 22/noviembre/2019

**Aceptación:** 13/junio/2020

## **Resumen**

En este artículo se presenta el análisis del desempeño de dos filosofías de producción, como son Teoría de restricciones (TOC, por sus siglas en inglés) y Justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés), a través de escenarios de simulación empleando el software Promodel. Para el análisis se comparan las herramientas e indicadores empleados en las filosofías TOC y JIT, así como las variables proporcionadas por el software, esto con el fin de evaluar y seleccionar la filosofía que ofrezca mejores resultados. Esto servirá como pauta para que las empresas puedan seleccionar e implementar la filosofía que se ajuste mejor a sus sistemas de producción y contribuya a la mejora de sus procesos.

**Palabras Clave:** Sistemas de producción, manufactura esbelta, teoría de restricciones (TOC), justo a tiempo (JIT), simulación.

## **Abstract**

*This article presents the performance analysis of two production philosophies, Theory of Constraints (TOC) and Just in Time (JIT), through simulation scenarios using Promodel software. On the analysis, the tools and indicators used on TOC and JIT philosophies and the variables provided by the software are compared, in order to evaluate and select the philosophy that offers the best results. This will serve as a guideline to companies so they can select and implement the philosophy that suits better to their production systems and contribute to the improvement of their processes.*

**Keywords:** *Production systems, lean manufacturing, theory of constraints (TOC), just in time (JIT) and simulation.*

## **1. Introducción**

Actualmente las empresas realizan mejoras a sus procesos de acuerdo con las necesidades y exigencias de los clientes, con el fin de ofrecer a estos, productos de la más alta calidad. Las organizaciones de clase mundial han decidido a lo largo de los años mejorar sus procesos derivados de la gran competencia y el constante cambio tecnológico que ha traído la globalización.

Por tal motivo las empresas en desarrollo buscan herramientas adecuadas, que les permitan lograr mejoras en los procesos y productos o servicios que éstas ofrecen a los clientes, y así poder entrar en competencia con otras organizaciones y lograr estar a la par, con respecto a las ventajas competitivas que estos ofrecen a los clientes.

Una de las principales herramientas empleadas por las empresas es la manufactura esbelta. El término manufactura esbelta (lean manufacturing) fue introducido en 1990 en occidente con la publicación del libro la “Máquina que cambió al mundo” del Dr. James P. Womack basado en el estudio de cinco años del Sistema de Producción Toyota realizado por el MIT dentro de su Programa Internacional de

Vehículos de Motor (IMVP por sus siglas en inglés) [Monge, Cruz, & López, 2013]. La manufactura esbelta, es un término que se ve relacionado con las filosofías de Toyota. La manufactura esbelta es un conjunto de herramientas que ayudan a la identificación y eliminación o combinación de desperdicios (muda), a la mejora en la calidad y a la reducción del tiempo y el costo de producción [González, 2007]. Algunas de estas herramientas son la mejora continua (kaizen), métodos de solución de problemas como 5 porqués y los sistemas a prueba de errores (poka yokes), entre otras.

La filosofía Justo a tiempo, (JIT, por sus siglas en inglés), fue creada por la empresa Toyota de origen japones. JIT es una filosofía de producción que tiene como principal estrategia competitiva, la reducción de los ciclos de fabricación, el aumento de la flexibilidad, la calidad y la reducción de costos a través de un sistema logístico “pull” [Sarache & Javier, 2000]. Esta filosofía busca que los clientes sean servidos en el momento preciso, con la cantidad exacta requerida y con productos de máxima calidad, todo esto mediante un proceso de producción que emplee el mínimo de inventario y que evite cualquier despilfarro o costos innecesarios [Domínguez, 1995]. Por otro lado, la Teoría de las Restricciones tiene como estrategia, entender la estructura de un sistema productivo, viéndolo como una cadena y enfocándose en los eslabones más débiles, con miras a buscar un equilibrio que mejore el desempeño de la organización [Uribe & Quintero, 2017]. Esto quiere decir que con esta filosofía se pretende trabajar al ritmo del cuello de botella, es decir, la parte del proceso en donde podría existir más WIP (work in process), o retrasos que pudieran afectar la producción diaria de la fábrica. La simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado basado en un sistema o proceso real, que conduce a realizar experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar diversas estrategias con las cuales se pueda operar el sistema [Coss, 2003].

La finalidad de este artículo es realizar un análisis comparativo del funcionamiento de las filosofías TOC y JIT, y de sus herramientas, para poder identificar las ventajas competitivas que estas filosofías ofrecen a las empresas manufactureras, a través de la simulación con el software Promodel. Dentro de este artículo se abordarán

diversos temas, que son de gran importancia para lograr una mejora en las diversas empresas, tales como los sistemas de producción, manufactura esbelta, TOC (teoría de restricciones), JIT (just in time) y simulación.

## 2. Método

La metodología contempló aspectos necesarios para el desarrollo del proyecto tales como: la identificación de herramientas de cada filosofía, la selección, simulación y validación del proceso de producción y el análisis comparativo de los resultados de cada filosofía. Para el desarrollo se empleó el método experimental y mixto. En la figura 1 se muestra el diagrama de la metodología empleada, la cual se encuentra compuesta por 8 etapas para el desarrollo de este artículo, esto con el fin de comprender de manera más sencilla el proceso.

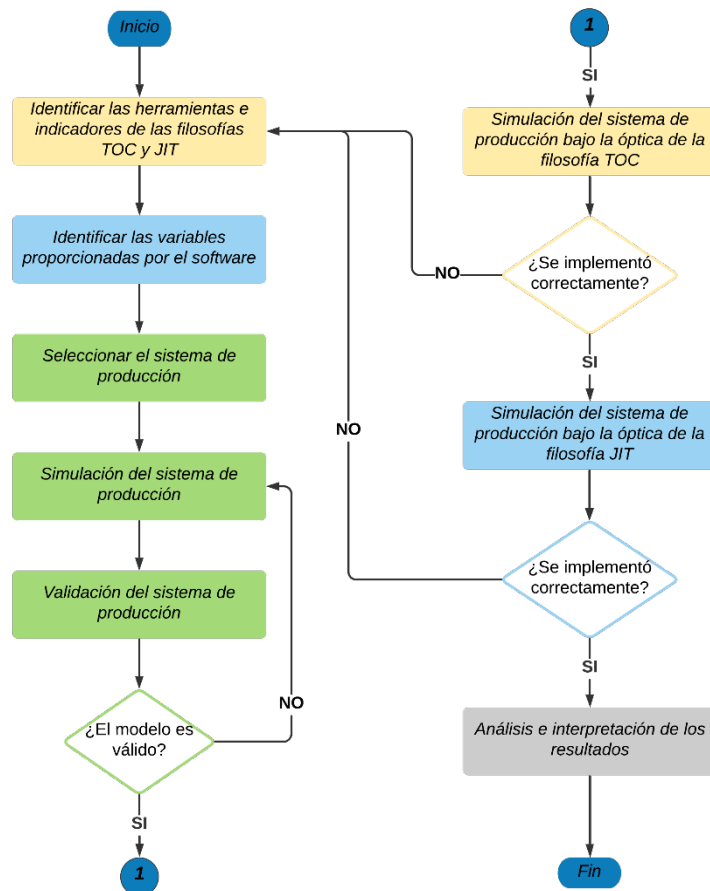


Figura 1 Diagrama de flujo de la metodología.

### 3. Resultados

Partiendo de todos los aspectos mencionados anteriormente y de acuerdo con los conceptos de teoría de restricciones y justo a tiempo que fueron analizados para el desarrollo de este artículo, se realizaron los pasos del proceso metodológico del diagrama de flujo mostrado en la figura 1, y se construyó un modelo de simulación en el software Promodel.

#### Identificar las herramientas e indicadores de la filosofía TOC y JIT

La tabla 1 muestra el listado de herramientas que se emplearon para la comparación de los modelos, la cual permitirá identificar las mejoras y las áreas de oportunidad en cada uno de los modelos.

Tabla 1 Herramientas e indicadores de la filosofía TOC y JIT.

Filosofía TOC	Filosofía JIT
TAC	Diagrama de Ishikiwa
	Kanban
	Lead time
	Tack time
	Cycle time
	Troughput
	Gastos de Operación
	Inventario
	Beneficio Neto
	Work in process (WIP)

Las herramientas e indicadores se seleccionaron de acuerdo con la información obtenida en libros, artículos y medio digitales, donde nos indican las principales herramientas con las que se puede apreciar el análisis de cada una de las filosofías. Es por esta razón que se decidió contar con diferentes tipos de gastos, costos y técnicas que serán de gran utilidad para apreciar las diferencias entre ambas filosofías, así como el modelo original.

#### Identificar las variables proporcionadas por el software

Las variables que se evaluarán, de acuerdo con el software Promodel, son:

- Porcentaje de máquina ocupada.

- Porcentaje de ocio de cada máquina.
- Porcentaje de máquina parcialmente ocupada.
- Porcentaje de operación del recurso.
- Porcentaje de ocio del recurso.
- Porcentaje de uso del recurso al trasladar el producto.
- Paquetes totales producidos.

Estas variables, serán el complemento de los indicadores y herramientas que se mencionaron en el paso anterior, esto con el fin de tener diversos puntos de referencia para el análisis de las filosofías y las ventajas que estas ofrecen.

### **Seleccionar el sistema de producción**

Se realizó la selección de un sistema de producción, y se identificaron las áreas de trabajo con las que cuenta, y así determinar todas las entidades y locaciones necesarias que el software requiere para la simulación.

Se eligió un sistema de producción ficticio, que es semejante a la producción de galletas de vainilla.

Se recopiló la información necesaria para poder ingresar al software los tiempos de procesamiento de cada máquina, para poder obtener como producto final paquetes de galletas de vainilla.

Las áreas de trabajo que se identificaron se basan en el documento de la empresa Esbelt, el cual describe el proceso que se enlista a continuación [Esbelt, 2000]:

- Almacén de materia prima.
- Amasado.
- Laminado.
- Troquelado.
- Horno.
- Enfriamiento.
- Empaquetado.
- Almacén de producto terminado.

## Simulación del sistema de producción

Una vez que se seleccionó el sistema de producción se realizó la simulación del modelo en el software Promodel. En la figura 2 se muestra el modelo con el proceso mencionado anteriormente.

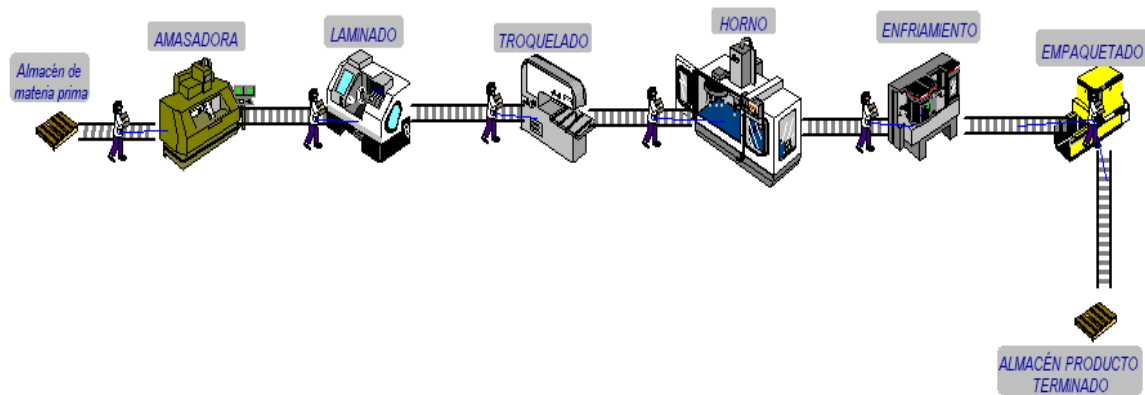


Figura 2 Simulación del sistema de producción de galletas de vainilla.

Para poder realizar la simulación fue necesaria la investigación y estudio del funcionamiento del software Promodel, dicha información se obtuvo del libro “Simulación y análisis de sistemas con Promodel”, en donde se mencionan los elementos necesarios para la simulación como las locaciones (áreas de trabajo) y las entidades (producto) [García, García & Cárdenas, 2013].

## Validación del sistema de producción

Una vez realizada la simulación fue necesaria la validación del modelo, por lo que se tomó como referencia 1 tonelada de producción diaria de galletas de vainilla. [Cargua & Gavilánes, 2009] mencionan que la empresa “Industrias alimenticias Fénix” realiza una producción de 1 tonelada diaria de galletas, por lo que, para adaptar el sistema de producción ficticio a uno real, se tomó como referencia la capacidad de producción de la empresa. De igual manera se encontró que la “Fábrica de Galletas Jacinta”, cuenta con una capacidad de producción de 1 tonelada diaria, y consta de 2 turnos de trabajo, que tienen por norma la producción de 500 kg por turno, lo que equivale a 1000 paquetes de galletas de vainilla [EcuRed, s.f.].

Para validar el modelo se tendrá un rango de aceptación de  $\pm 100$ , por lo que el límite inferior es de 900 y el límite superior de 1100.

Al analizar el reporte general de la simulación se obtuvo como resultado la tabla 2, la cual muestra las salidas totales por entidad, y se encuentra que el total de paquetes de galletas es de 909, es decir, que se cumple con el rango establecido anteriormente, y se da por validado el modelo.

Tabla 2 Resumen de las salidas totales por entidad.

Entidad	Salidas totales
Masa	0
Galletas	0
Galletas horneadas	0
Paquetes de galletas	909

### **Simulación del sistema de producción bajo la óptica de la filosofía TOC**

La teoría de restricciones emplea diversas herramientas, las cuales ayudan a las organizaciones a mejorar la gestión de la producción. La herramienta más empleada de esta filosofía es “TAC”, mejor conocida como tambor, amortiguador y cuerda (DBR, por sus siglas en inglés), y su principal objetivo es identificar la restricción del sistema de producción. La finalidad de esto es trabajar sobre esa restricción y adaptar el proceso al ritmo que esta lleve.

De acuerdo con la herramienta TAC se determinó que era necesaria la colocación de 2 mesas de espera en las áreas de amasado y horno, como los amortiguadores para mejorar el ritmo de la producción, ya que fueron los principales cuellos de botella que se identificaron. Además, se decidió poner una segunda máquina de enfriamiento, debido a que la máquina de enfriamiento primaria no tenía la capacidad para recibir los arribos de las entidades. De igual manera, se colocó una inspección final entre el área de empaquetado y el almacén de producto terminado. En la figura 3 se observa los cambios realizados al modelo.

### **Simulación del sistema de producción bajo la óptica de la filosofía JIT**

La filosofía justo a tiempo emplea diversas herramientas que son esenciales para el correcto funcionamiento e implementación de dicha filosofía. El diagrama de



Ishikawa, también conocido como diagrama causa y efecto, es una herramienta que analiza de forma organizada y sistemática los factores y las causas que inciden en la generación de un problema detectado a partir de sus efectos [Cuatrecasas, 2012]. Por esta razón se desarrolló un diagrama de Ishikawa, el cual se muestra en la figura 4, donde se analizan a detalle los factores que podrían estar provocando el incumplimiento del pedido del cliente.

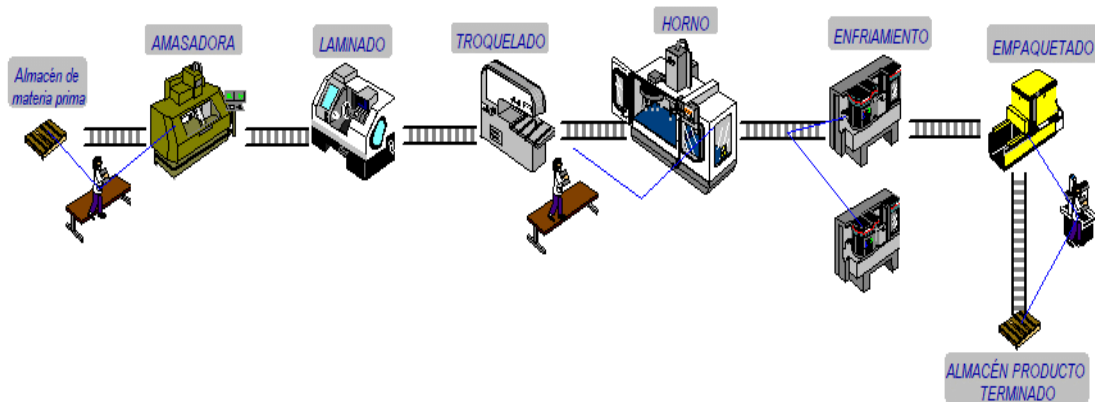


Figura 3 Simulación del proceso de producción bajo la óptica de la filosofía TOC.

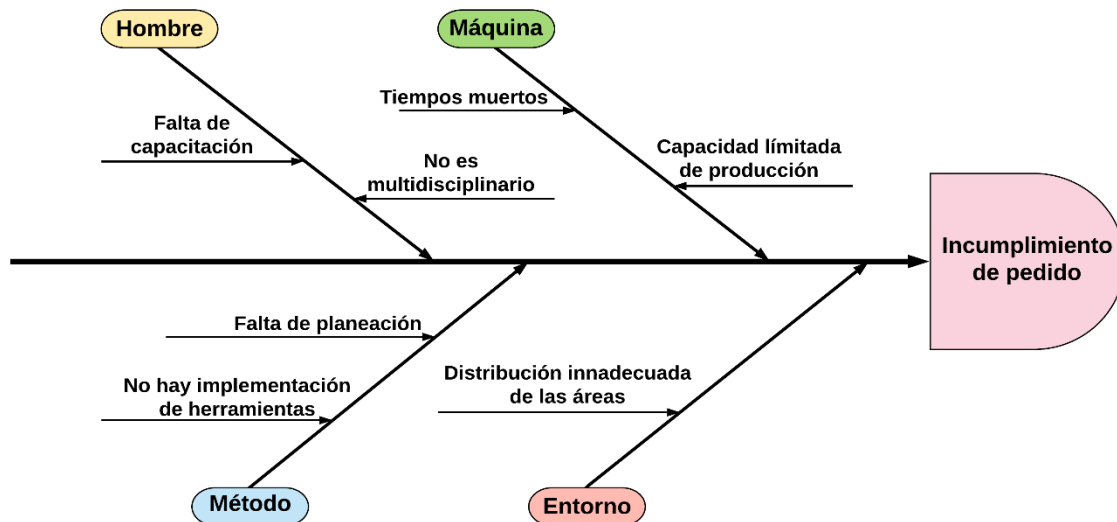


Figura 4 Diagrama de Ishikawa del modelo simulado.

Como se ha mencionado, la filosofía JIT busca satisfacer la demanda del cliente, en el tiempo, la cantidad y la calidad establecido, para ello se emplea una herramienta llamada Kanban. Esta herramienta es un sistema de trabajo JIT, lo que significa que

evita sobrantes innecesarios de inventario, que en la gestión de proyectos equivale a la inversión innecesaria de tiempo y esfuerzo en lo que no necesitaremos (o simplemente es menos prioritario) y evita sobrecargar al equipo, trabajando de acuerdo con la demanda del cliente, con un enfoque pull [Bermejo, 2011]. En la figura 5, se muestra la implementación del modelo bajo la óptica de la filosofía JIT, para ello se realizó el cambio del flujo de la producción, para optimizar el espacio y brindar a los operarios el área necesaria para su desplazamiento. De igual manera, se colocaron 3 inspecciones, esto para lograr la calidad en el origen. Para iniciar la simulación del proceso de producción, se colocó una región Kanban, la cual envía una señal al almacén de materia prima que indica el comienzo de la producción.

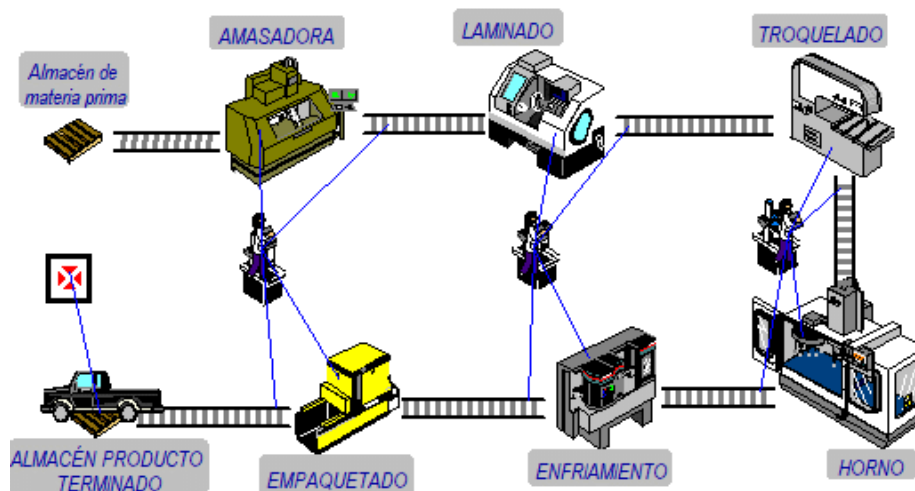


Figura 5 Simulación del proceso de producción bajo la óptica de la filosofía JIT.

### Análisis e interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos de los modelos de producción de la filosofía JIT y TOC se muestran en las siguientes tablas comparativas.

El takt time, lead time y el cycle time del proceso de producción es el siguiente:

- Takt time: 0.72 min/paquete
- Lead time: 111 min

Para el cycle time se presenta la tabla 3, donde se detalla el tiempo que requiere cada máquina, para cumplir con el proceso del área.

Tabla 3 Cycle time de los procesos del sistema de producción.

Proceso	Tiempo (min)
Amasado	30
Laminado	6
Troquelado	5
Horno	30
Enfriamiento	30
Empaquetado	10

La tabla 4 muestra la comparación de los diversos gastos que implica el proceso de producción, así como las ganancias que corresponde a cada modelo simulado (real, bajo óptica JIT, bajo óptica TOC) y el WIP que hay en cada uno.

Tabla 4 Comparación de gastos, inventario, ganancia y WIP de los modelos simulados.

	Modelo original	Modelo JIT	Modelo TOC
Throughput	\$14343.90909	\$15779.87799	\$16647.77128
Gastos de operación	\$2401.807708	\$2026.807708	\$1651.807708
Beneficio Neto	\$11942.10139	\$13753.07028	\$14995.96357
Inventario	0	0	55
WIP	1233	0	395

Dentro del software Promodel existe información detallada del comportamiento de los modelos, a esta información se le ha denominado variables, las cuales fueron mencionadas al principio de este capítulo. En la tabla 5 se muestra el resumen de los datos obtenidos de las variables denominadas porcentaje de ocio, ocupado y parcialmente ocupado de cada máquina.

Tabla 5 Porcentaje de ocupado, ocio y parcialmente ocupada por cada máquina.

Máquina	Modelo original			Modelo JIT			Modelo TOC		
	Ocupada	Ocio	Parcialmente ocupada	Ocupada	Ocio	Parcialmente ocupada	Ocupada	Ocio	Parcialmente ocupada
Amasado	85.86%	0.02%	14.12%	75.68%	19.70%	4.62%	95.07%	1.40%	3.53%
Laminado	0.00%	41.98%	58.02%	0.00%	45.60%	54.40%	0.00%	5.58%	94.42%
Troquelado	17.76%	9.10%	73.14%	0.00%	47.82%	52.18%	0.00%	6.43%	93.57%
Horno	75.01%	5.79%	19.20%	70.81%	17.34%	11.85%	65.40%	8.55%	26.05%
Enfriamiento	77.98%	9.97%	12.05%	70.70%	16.53%	12.77%	23.47%	12.74%	63.79%
Empaquetado	14.97%	28.90%	56.13%	1.45%	19.39%	79.16%	0.00%	16.91%	83.09%

El sistema de producción original cuenta con 6 operarios, sin embargo, para los modelos JIT y TOC se redujeron a 5 y 4 el número de operarios respectivamente,

esto con el fin de aumentar el uso de los trabajadores. En tabla 6 se muestra un resumen de los porcentajes de uso, ocio y uso en el traslado del material, de acuerdo con cada operario.

Tabla 6 Comparación del porcentaje de utilización y ocio de los recursos.

Operarios	Modelo JIT			Modelo TOC					
	En uso	Ocio	Uso en el traslado	En uso	Ocio	Uso en el traslado			
1	6.60%	86.81%	6.59%	26.19%	47.63%	26.18%	10.51%	78.99%	10.50%
2	5.62%	88.76%	5.61%	20.08%	59.84%	20.07%	21.58%	56.85%	21.57%
3	5.80%	88.41%	5.79%	22.66%	54.70%	22.65%	7.20%	85.61%	7.19%
4	9.00%	82.02%	8.99%	18.87%	62.28%	18.85%	20.31%	59.38%	20.31%
5	5.51%	88.99%	5.50%	33.04%	33.93%	33.03%	-	-	-
6	14.72%	70.57%	14.71%	-	-	-	-	-	-

En la tabla 7, se muestra la comparación del total de paquetes de galletas terminados de los modelos TOC y JIT, así como del modelo original. Como se puede apreciar, en ambas filosofías hubo un incremento del número de paquetes producidos, que cumplen con la demanda de 1000 paquetes que requiere el cliente.

Tabla 7 Comparación de los paquetes de producto terminado de cada modelo.

Modelo	Lotés de producto terminado
Original	909
JIT	1000
TOC	1055

#### 4. Discusión

Las organizaciones actualmente emplean estas herramientas en sus sistemas de producción para el mejoramiento de sus procesos y productos. Para ello es necesario identificar las áreas de oportunidad dentro de los procesos de producción. Esta parte es fundamental para tener definido claramente cuáles serán las herramientas y filosofías adecuadas para cada sistema de producción.

En el desarrollo de este artículo se logró identificar los principales factores a estudiar para la correcta toma de decisiones, de acuerdo con las necesidades del modelo simulado. Como se muestra en el apartado anterior, las modificaciones realizadas a los procesos de producción y el uso de las herramientas empleadas en las filosofías TOC y JIT, lograron mejoras en el proceso con respecto al modelo original.

Con la implementación de la filosofía TOC, se incrementaron los paquetes de producto terminado, alcanzando los 1055 paquetes, además se redujeron los bloqueos y el WIP. Mientras que en la filosofía JIT, se eliminó el WIP, cumpliendo con la demanda de 1000 paquetes especificados por el cliente, y obteniendo un inventario 0 en el almacén de producto terminado. Al hablar de los costos y ganancias, la filosofía TOC supera a la filosofía JIT por \$1242.89 de utilidad. Por último, la filosofía JIT emplea 5 operarios y TOC 4, sin embargo, los operarios que se emplean en el modelo bajo la óptica JIT trabajan en diversas máquinas, logrando empleados multidisciplinarios, lo que optimiza el proceso.

Gracias al correcto uso de las herramientas y al estudio de estas, se obtuvieron resultados favorables para el sistema de producción. Con estos resultados se puede proporcionar a las empresas una guía para la adaptación e implementación de las diversas herramientas de acuerdo con sus procesos, y así obtener una mejora, con la finalidad de satisfacer la demanda del cliente.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Aguilera, C. C. I. [2000]. Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones. *Estudios gerenciales*, N° 77, 53-69.
- [2] Bermejo, M. [2011]. *El Kanban*. Barcelona: UOC.
- [3] Cargua, López, R. C., & Gavilánes, Reinoso, D. I. [2009]. Diseño de un sistema de operaciones en métodos y tiempos para mejorar la productividad en las líneas de producción de galleta y caramelo en industrias alimenticias fénix. Tesis de ingeniería. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- [4] Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. [2009]. *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros*. México: The McGraw-Hill.
- [5] Cuatrecasas, L. A. [2012]. *Gestión de la calidad total*. Madrid: Diaz de Santos.
- [6] Coss, R. B. [2003]. *Simulación: Un enfoque práctico*. México: Limusa.
- [7] Domínguez, Machuca, J. A. [1995]. *Dirección de operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Madrid: The McGraw-Hill.

- [8] EcuRed. [s.f.]. Fábrica de galletas Jacinta. [https://www.ecured.cu/F%C3%A1brica\\_de\\_Galletas\\_Jacintas](https://www.ecured.cu/F%C3%A1brica_de_Galletas_Jacintas).
- [9] Esbelt [2000]. Proceso de producción en una fábrica de galletas. <http://www.esbelt.com>.
- [10] García, E. D., García, H. R., & Cárdenas, Barrón, L. E. [2013]. Simulación y análisis de sistemas con ProModel. México: Pearson educación.
- [11] González, F. C. [2007]. Manufactura esbelta (lean manufacturing): Principales herramientas. *Panorama administrativo*, 85-112.
- [12] Mongue, C., Cruz, J., & López, F. [2013]. Impacto de la manufactura esbelta, manufactura sustentable y mejora continua en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental en México. *Información y tecnología*, 15-32.
- [13] Sarache, Castro, W. A., & Javier, N. T. [2000]. Justo a tiempo y manufactura modular: Una alternativa para mejorar la competitividad en plantas de confecciones. *Revista universidad EAFIT*, 49-58.
- [14] Uribe, Gómez, J. A. [2017]. Aplicación de los modelos de simulación en entornos productivos bajo la metodología de teorías de las restricciones. *Revista CEA*, N° 6, 11-27.