

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **PRODUCTION MODEL INTEGRATING TOC AND LEAN FOR LEAD TIME REDUCTION IN CHEMICAL MANUFACTURING: AN EMPIRICAL RESEARCH IN PERU**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Adrian Tetsuo Lopez Osorio**

**Código 20150785**

**Nancy Francesca Vila Moretti**

**Código 20172786**

**Asesor**

**Alberto Enrique Flores Perez**

Lima – Perú

Julio de 2024

<b>Propuesta</b> <b>Carrera Ingeniería Industrial</b>
<b>Título</b>  PRODUCTION MODEL INTEGRATING TOC AND LEAN FOR LEAD TIME REDUCTION IN CHEMICAL MANUFACTURING: AN EMPIRICAL RESEARCH IN PERU
<b>Autor(es)</b> 20150785@aloe.ulima.edu.pe 20172786@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima
<p><b>Resumen:</b> La industria química permite la creación de una amplia gama de productos como es el caso de los polímeros, emulsiones, entre otros. En el mundo dicho sector genera \$5.7 billones del PBI mundial, y en el Perú este mismo representa el 1% del PBI nacional. El presente artículo describe la implementación de un sistema integrado de la Teoría de Restricciones (TOC) y Lean Manufacturing (5s y SMED) para la reducción del Lead time del proceso de producción de la resina RA-401, para ello se analiza el problema general a través de la herramienta VSM, donde se evidencian las causas raíz, el tiempo de cada actividad y la incidencia del trabajador. Después de la implementación del modelo que se desarrolló a través de un programa de software llamado Arena, se redujo el Lead Time de Procesamiento en 7.88%, el Tiempo de Ciclo en 7.94% y se aumentó la productividad en 8.48%.</p> <p><b>Palabras Clave:</b> Teoría de Restricciones, Manufactura Ajustada, Tiempo de Espera, SMED, 5s</p> <p><b>Abstract:</b> The chemical industry allows the creation of a wide range of products such as polymers, emulsions, among others. In the world, this sector generates \$5.7 billion of the world's Gross Domestic Product (GDP), and in Peru it represents 1% of the national GDP. This article describes the implementation of an integrated system containing the Theory of Constraints (TOC) and Lean Manufacturing (5s and Single Minute Exchange of Die) for the reduction of the lead time in the production process of the RA-401 resin in a chemical SME in Peru. The general problem is analyzed through the Value Stream Mapping tool, where the root causes, the time of each activity, and the incidence of the worker are evidenced. The validation of the developed model was carried out in the stage of filling and labeling of 200 kg resin cylinders through Arena Simulator. The results showed that the processing lead time was reduced by 7.88%, cycle time by 7.94% and productivity was increased by 8.48%.</p> <p><b>Keywords:</b> Theory of Constraints, Lean Manufacturing, Lead Time, SMED, 5s</p>
<b>Línea de investigación IDIC – ULIMA</b>
<b>Área y Sub-áreas de Investigación:</b> Operations Research and Analysis – Modeling approaches
<b>Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS):</b> Industria, Innovación e Infraestructura

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El caso de estudio se llevó a cabo en una empresa manufacturera del sector químico, siendo el objeto de estudio el proceso de producción de la resina RA401. El principal desafío identificado es la prolongada duración de algunas etapas del proceso de fabricación, lo que afecta significativamente la productividad de la empresa y el nivel de servicio que podían ofrecer. En una investigación similar, se encontró que el 13% de las actividades del proceso de producción de aceite no aportaban valor, afectando así los tiempos de procesamiento (Rizka et al, 2020). De esta manera, se puso en evidencia que a etapa de llenado y etiquetado tenía una gran implicación en los altos tiempos de procesamiento puesto que tenía un alto grado de intervención humana en comparación con otras etapas. Se identificó durante la revisión de la literatura mediante una matriz comparativa, que la mayoría de las investigaciones que abordaban oportunidades de mejora en el Lead Time, Tiempos de Ciclo, Tiempos de Set up proponían el uso 5s y SMED (Issa, T. 2018), así como a la Teoría de Restricciones para la identificación y gestión de restricciones (Pacheco et al. 2019).

## OBJETIVOS

Mejorar la productividad del proceso de producción de la resina RA401 en 9.0% mediante la reducción del Lead Time en un 11% y el Tiempo en 8% para alcanzar los estándares de la industria en una PYME del sector químico en Perú.

## JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, las pequeñas y medianas empresas, en especial la que realizan procesos de manufactura, deben invertir en la reducción de sus tiempos de procesamiento ya que dependen de esto para aumentar su productividad. Se realizó una consulta a la literatura, con el objetivo de identificar el estándar en los tiempos de procesamiento de empresas del mismo sector. Las mejoras se aplicaron a los tiempos de ciclo de las operaciones con mayores desperdicios y a los tiempos de espera.

Autores	Sector	Brecha técnica	Impacto económico
Issa (2018)	Químico: Plásticos	Reducción del lead time: 10.4% Productividad: 95.5%	-
Rizkya et al (2020)	Aceites y grasas	Reducción del lead time: 12.79%	-
Arroyo et al (2021)	Químico: Plásticos	Reducción del lead time: 37%	Pérdida anual del 12% en ventas equivalente a S/ 107,320
Escudero (2020)	Manufactura: Pizzas	Reducción del lead time: 99% Productividad: 20%	-

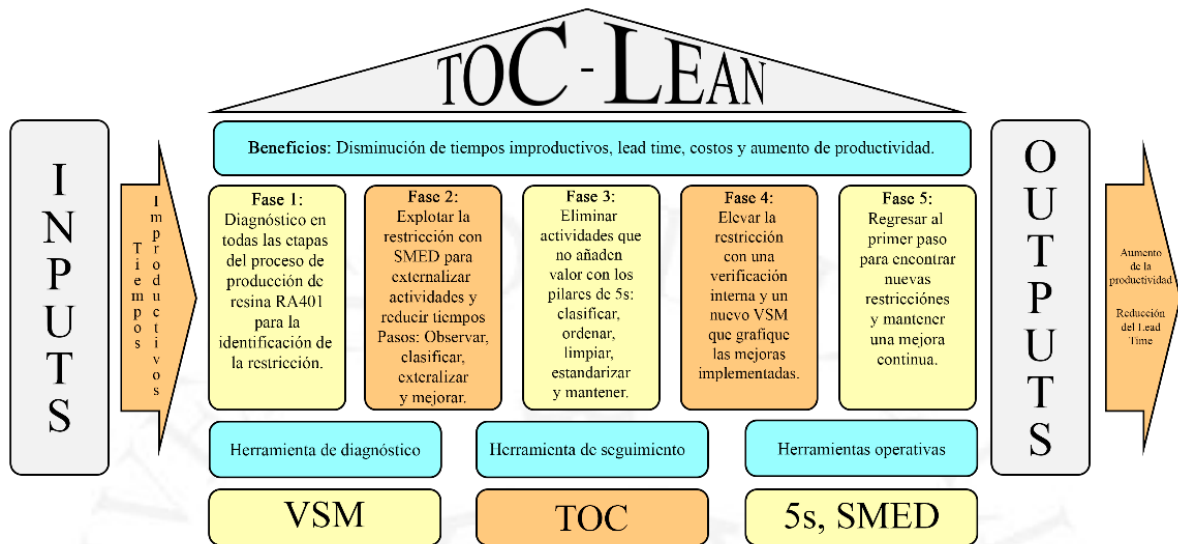
*Nota.* Obtenido de distintos autores como Issa, T. (2018), Rizkya et al. (2020), Arroyo et al (2021), Escudero, B. (2020)

Por otro lado, con la reducción del Lead Time, el Tiempo de Ciclo y por lo tanto el aumento de la productividad en un 9% mediante la correcta aplicación de las herramientas de Lean Manufacturing y la Teoría de Restricciones, la empresa logrará generar 372,211.5 dólares adicionales anualmente. Es importante destacar que estas mejoras pueden contribuir potencialmente al desarrollo sostenible, específicamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 9: Industria, Innovación e Infraestructura.

## DISEÑO METODOLÓGICO

El modelo propuesto se basa en la teoría de restricciones, SMED y 5s. Para el desarrollo de la propuesta se inicia considerando el sistema de pensamiento gerencial TOC, el cual consta de 5 pasos para su implementación.

La siguiente figura detalla el modelo propuesto, el cual unifica las herramientas más indicadas para la reducción de tiempos. El modelo está basado en la Teoría de restricciones como una base estructural para la implementación de herramientas Lean.



### 1) Fase 1

La primera fase del modelo es la identificación de la restricción, la cual es el primer paso de la Teoría de Restricciones (TOC). Para esto se realiza un diagnóstico para identificar las debilidades, en este caso tiempos de producción excesivos. La herramienta de diagnóstico más conveniente es el Mapa de Flujo de Valor ya que esta permite tener un mejor entendimiento de los tiempos de producción y, por ende, la identificación de aquellas actividades que generan mucho desperdicio. La implementación de esta herramienta inicia con el análisis del proceso de producción para determinar las etapas del proceso, el siguiente paso precisa obtener información sobre tiempos. Una vez conseguida la información se procede a calcular los tiempos de ciclo, el lead time y el tiempo total de procesamiento. El último paso es graficar el Mapa de Flujo de valor (VSM).

### 2) Fase 2

La segunda fase de la teoría de restricciones (TOC) es decidir como explotar la restricción identificada en la fase 1, para este caso se utilizará la herramienta SMED, que propone reducir el tiempo de preparación en la restricción. El primer paso para la implementación será la observación de todos los elementos u operaciones que conforman la restricción y el tiempo de cada una de ellas. El siguiente paso será la clasificación de las operaciones en externas (con la máquina funcionando) e internas (con la máquina detenida). El tercer paso consiste en externalizar la mayor cantidad actividades, es decir convertir a las internas a externas, con el propósito de aumentar la productividad. El cuarto paso será la mejora de las operaciones internas y externas presentes, esto se hará mediante la estandarización de las operaciones.

### 3) Fase 3

La tercera fase del proyecto comprende el tercer paso de la teoría de restricciones. Este último es subordinar todas las actividades del proceso a la restricción, ya que los aumentos en la eficiencia en las etapas del proceso que no son restricciones son ilusorios. Para esta fase se implementará la herramienta 5s con el fin de eliminar las actividades que no añaden valor para obtener un proceso más fluido y sistemático. La implementación inicia con la clasificación que consiste en separar actividades internas y externas mediante la identificación de las herramientas y los materiales que aportan al proceso. A

continuación, se procede a organizar el área de trabajo con el objetivo de mantener cada cosa en su lugar, mediante la creación de un lugar para cada objeto. Luego prosigue la limpieza y la inspección para que todo se encuentre siempre en su estado óptimo. Posteriormente se formalizarán por escrito de manera clara y concisa los materiales y herramientas de cada zona, las frecuencias de limpieza y organización. Por último, se establecerán las condiciones para trabajar permanentemente cumpliendo las reglas.

#### 4) Fase 4

Este penúltimo paso de la fase según la teoría de restricciones (TOC), consiste en elevar la restricción. Para este paso se realizará una verificación interna de las mejoras que se realizaron en el proceso. Se empleará un segundo mapa de flujo de valor (VSM) para la apreciación del cálculo de los nuevos tiempos de procesamiento, tiempos de ciclo y lead time.

#### 5) Fase 5

La quinta y última fase refiere al quinto paso de la teoría de restricciones. Esta es regresar al primer paso, con el objetivo de encontrar nuevas restricciones para que sean digeridas por los 5 pasos y así lograr un mejoramiento y crecimiento constante.

### NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

Este trabajo es el resultado de un viaje de aprendizaje y crecimiento que no habría sido posible sin el apoyo incondicional y la guía de muchas personas a lo largo del camino.

En primer lugar, deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento a nuestros padres, quienes nos han enseñado el valor del esfuerzo, la perseverancia y la integridad. Gracias por ser nuestra fuente constante de ánimo, por sus sacrificios y por siempre estar ahí para celebrar nuestros logros y brindarnos consuelo en los momentos difíciles. Este logro es tan suyo como nuestro.

A nuestro asesor, el Dr. Alberto Flores Pérez. Su sabiduría, paciencia y orientación constante no solo han sido fundamentales para la realización de este proyecto, sino que también nos inspiró a perseguir la excelencia y la innovación en cada paso del proceso. Gracias por creer en nosotros y por su compromiso inquebrantable con nuestro desarrollo académico y profesional.

Finalmente, a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la culminación de este trabajo, ya sea con palabras de aliento, críticas constructivas o su simple presencia. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en este logro, y por ello, estamos eternamente agradecidos.

### REFERENCIAS

- Arbieto, M., Vasquez, J., Altamirano, E., Álvarez, J., & Marcelo, E. (2020). Lean Manufacturing tools applied to the metalworking industry in Perú [Herramientas de manufactura esbelta aplicadas a la industria metalmeccánica en Perú]. *International Conference on Innovation and Trends in Engineering*. doi:10.1109/CONIITI51147.2020.924036
- Arroyo Huayta C., Cruces Raimudis S., Viacava Campos G., Leon Chávarri C., Aderhold D. (2021) Model to Improve the Efficiency in the Extrusion Area in a Manufacturing SME of the Industrial Plastic Sector Based on SMED, Autonomous Maintenance and 5S. [Modelo para mejorar la eficiencia en el área de extrusión en una pyme de fabricación del sector plástico industrial basado en SMED, Mantenimiento autónomo y 5s]. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 545-551. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55307-4\\_83](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55307-4_83)
- Badeeb, A., Abdulaal, R., & Bafail, A. (2017). An Application of Lean Manufacturing Techniques in Paint Manufacturing Company: A Case Study [Una aplicación de técnicas de manufactura esbelta en una empresa de fabricación de pintura: un caso de estudio]. *Journal of King Abdulaziz University*, 51-73. doi:10.4197/Eng.28-2.5
- Banco Central de Reserva del Perú. (21 de marzo de 2021). *Indicadores indirectos de la tasa de utilización de la capacidad del sector manufacturero de productos químicos, caucho y plásticos*. <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/mensuales/resultados/PN37656AM/html/1994-1/2021-3/>

- Escudero, B. (2020). Mejora del lead time y productividad en el proceso armado de pizzas aplicando herramientas de lean manufacturing. *Ingeniería Industrial*, 39, 51-72. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n039.4915>
- INEI (2020). *Producción Nacional*. [http://m.inei.gob.pe/media/principales\\_indicadores/03-informe-tecnico-n03-produccion-nacional-ene.2020.pdf](http://m.inei.gob.pe/media/principales_indicadores/03-informe-tecnico-n03-produccion-nacional-ene.2020.pdf)
- Issa, T. (2018). Lean manufacturing implementation in fused plastic bags industry [Implementación de herramientas lean en la industria de bolsas de plástico fundido]. *ACM International Conference Proceeding Series*, 151-158. <https://doi.org/10.1145/3285957.3285958>
- Jordan, E., Berlec, T., Rihar, L., & Kusar, J. (2020). Simulation of cost driven value stream mapping. *International Journal of Simulation Modelling*, 19(3), 458-469. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM19-3-527>
- La Cámara (2018). Comercio exterior. [https://apps.camaralima.org.pe/RepositorioAPS/0/0/par/POSADA\\_845/POSADA\\_845\\_Sector%20qu%C3%ADmico%20exportar%C3%A1%20m%C3%A1s%20e%20US\\$1.400%20mill.%20en%20el%202018.pdf](https://apps.camaralima.org.pe/RepositorioAPS/0/0/par/POSADA_845/POSADA_845_Sector%20qu%C3%ADmico%20exportar%C3%A1%20m%C3%A1s%20e%20US$1.400%20mill.%20en%20el%202018.pdf)
- Liao, M., & Wang, C. (2021). Using Enterprise Architecture to Integrate Lean Manufacturing, Digitalization, and Sustainability: A Lean Enterprise Case Study in the Chemical Industry [Uso de la arquitectura empresarial para integrar la fabricación ajustada, la digitalización y la sostenibilidad: un estudio de caso de empresa ajustada en la industria química]. *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094851>
- Ministerio de la Producción. (2020). *Estudios económicos, estadística sector manufactura*. <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/estadistica-oe/estadistica-sectorial>
- Pacheco, D., Pergher, I., Valle, J., & Vaccaro, G. (2019). Exploring the integration between Lean and the Theory of Constraints in Operations Management [Explorando la integración entre Lean y la teoría de restricciones en la gestión de operaciones]. *International Journal of Lean Six Sigma*, 718-742. doi:10.1108/IJLSS-08-2017-0095
- Paprocka, I. (2019). The model of maintenance planning and production scheduling for maximizing robustness. *International Journal of Production Research*, 57(14), 4480-4501. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1492752>
- Patil, A., Pisal, M., & Suryavanshi, C. (2021). Application of value stream mapping to enhance productivity by reducing manufacturing lead time in a manufacturing company: A case study [Aplicación del mapeo de flujo de valor para mejorar la productividad al reducir el tiempo de espera de fabricación en una empresa de fabricación: un caso de estudio]. *Journal of Applied Research and Technology*, 11-22. doi:10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1488
- Rizkya, I., Syahputri, K., Sari, R., & Situmorang, D. (2020). Lean Manufacturing: Waste Analysis in Crude Palm Oil Process [Manufactura esbelta: análisis de residuos en el proceso de aceite de palma crudo]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 851(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/851/1/012058>
- Shukla, H. & Ganvir, K. (2018). Implementation of Kaizen and 5S in Plastic Pipe Manufacturing Unit [Implementación de Kaizen y 5S en la Unidad de Fabricación de Tuberías Plásticas]. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 11-18. doi: 10.30954/2322-0465.1.2018.2
- Sims, T., & Wan, H. (2017). Constraint identification techniques for lean manufacturing systems [Técnicas de identificación de restricciones para sistemas de manufactura esbelta]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43(1), 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.005>
- Sukuwadi, R., Felicia, Y., & Muafi. (2021). TOC, lean, and six sigma: An integrated model to increase the productivity of the textile industry [TOC, lean y six sigma: un modelo integrado para aumentar la productividad de la industria textil]. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44, 327-336. [https://jmerd.net/Paper/Vol.44,No.1\(2021\)/327-336.pdf](https://jmerd.net/Paper/Vol.44,No.1(2021)/327-336.pdf)
- The International Council of Chemical Association (ICCA) and Oxford economics (2019). The Global Chemical Industry: Catalyzing Growth and Addressing Our World's Sustainability Challenges [La industria química mundial: catalizar el crecimiento y abordar los desafíos de sostenibilidad de nuestro mundo]. <https://icca-chem.org/wp-content/uploads/2020/10/Catalyzing-Growth-and-Addressing-Our-Worlds-Sustainability-Challenges-Report.pdf>
- Lei, Q. & Li, T. (2017). Identification approach for bottleneck clusters in a job shop based on theory of constraints and sensitivity analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 231(6), 1091-1101. <https://doi.org/10.1177/0954405415583884>

## **ANEXOS.**

### **Datos del artículo publicado**

- **Nombre del artículo:** Production Model Integrating TOC and Lean for Lead Time Reduction in Chemical Manufacturing: An Empirical Research in Peru
- **Autores:** Adrián Tetsuo López Osorio, Nancy Francesca Vila Moretti
- **Co autor(es):** Alberto Enrique Flores Pérez, Juan Carlos Quiroz Flores, Martin Fidel Collao Diaz

### **Presentación en congreso**

- **Nombre del congreso:** 2022 The 9th International Conference on Industrial Engineering and Applications (Europe) (ICIEA-2022-Europe)
- **Organizador:** International Conference on Industrial Engineering and Applications
- **Sede:** Barcelona, España
- **Año:** 2022
- **Pp:** 1-6
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://doi.org/10.1145/3523132.3523140>

# LOPEZ-VILA

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

4%

★ Fiorella Nicol Cupe-Escalante, Cesar Eduardo Neyra-Bravo, Juan Carlos Quiroz-Flores. "Operations Management Model Based on Mixed Methodologies to Increase Production Efficiency in a Retail Laundry", Proceedings of the 2023 6th International Conference on Information Management and Management Science, 2023

Publicación

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo