

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



APPLICATION OF LEAN MANUFACTURING AND TOC TO INCREASE PRODUCTIVITY IN A COMPANY IN THE HERMETIC WINDOWS SECTOR

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Giancarlo Robello Ponce

Código 20181631

Asesor

Edilberto Miguel Avalos Ortecho

Lima – Perú

Abril de 2024

Propuesta Carrera Ingeniería Industrial
Título APPLICATION OF LEAN MANUFACTURING AND TOC TO INCREASE PRODUCTIVITY IN A COMPANY IN THE HERMETIC WINDOWS SECTOR
Autor(es) 20181631@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima
<p>Resumen: La presente investigación tiene como objetivo la aplicación de lean manufacturing y TOC para incrementar la productividad en una empresa del sector ventanas herméticas. La empresa, según el diagnóstico realizado mediante VSM, tiene una baja productividad de 68.31%, identificado en los procesos de limpieza y ensamblaje. Con la finalidad de resolver el problema de la baja productividad, se aplican las 5 fases de TOC (Teoría de restricciones), implementando herramientas de Lean Manufacturing dentro de estas fases, las cuales permiten el incremento de la productividad y la reducción de desperdicios y tiempos. Se implementan herramientas Lean como 5S, con la finalidad de ordenar y organizar el área de operaciones, minimizando los tiempos de procesamiento; por otro lado, se simula la implementación de Standard Work, con la finalidad de reducir los tiempos del proceso al eliminar tiempos que no añadan valor. Para la simulación y validación de la propuesta de solución, se utilizó el software Arena Versión 22, obteniéndose como resultado un incremento de la productividad, obteniéndose una productividad de 90.47%.</p> <p>Palabras Clave: Manufactura; Lean Manufacturing; TOC; Productividad</p> <p>Abstract: An improvement proposal is made to a manufacturing company of hermetic windows. This company has low efficiency levels. Because of this, potential profits are lost and a loss of market position is caused. The objective of the research is to identify the points of improvement within the company, to, using engineering tools, propose different improvements. This model is based on the application of the 5 phases of TOC (Theory of constraints), implementing tools such as 5S, Standard Work and SLP (Systematic layout planning) throughout the process.</p> <p>Keywords: : Manufacturing; Lean Manufacturing; TOC; SLP; Efficiency.</p>
Línea de investigación IDIC – ULIMA
<p>Área y Sub-áreas de Investigación: [tomar como referencia la clasificación IISE BOK https://www.iise.org/details.aspx?id=43631]</p>
Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionado (s) al tema de investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, contar con altos niveles de productividad es fundamental para ser competitivos. Las empresas con altos niveles de productividad obtienen más ganancias debido a la optimización de sus procesos y gestión de recursos. Dentro de la filosofía Lean se considera como desperdicios a los tiempos muertos, pedidos incumplidos y los desperdicios de materia prima; debido a que generan costos (Paredes, A. M., 2017) (Mor et al., 2019). En la empresa, incrementar su productividad aumentaría sus ingresos, cumpliendo con sus pedidos. Contar con un déficit de productividad tiene consecuencias graves para la empresa. Desde pérdidas económicas, retrasos y errores en la producción, incumplimiento de objetivos o la fuga de su talento a otras compañías.

La búsqueda de un valor agregado en el mercado de ventanas es cada vez más común. Este valor agregado sería el aislamiento acústico, térmico y el ahorro de energía. Es por esto que, se proyecta que para 2025, el mercado de ventanas herméticas habrá crecido en un 4.8%, aumentando desde USD 12.8 billones a USD 16.2 billones (NASDAQ OMX's News Release Distribution Channel, 2020).

Empleando herramientas lean, en una empresa de ventanas de aluminio, la productividad aumentó en 23.12% (Villasana, M. M. et al, 2017). Asimismo, en una empresa embaladora de productos de vidrio, la implementación de lean eliminó las horas extras en los procesos, así en los meses siguientes el gasto se redujo a USD 161,088, USD 572,196 y USD 0.00 (Paredes, A. M., 2017).

OBJETIVOS

La finalidad de la investigación es aplicar la metodología lean manufacturing para incrementar la productividad en el proceso de fabricación de ventanas herméticas. Según los resultados de los autores mencionados, se implementará las herramientas 5S, Standard Work, siguiendo las fases de TOC. La motivación es generar un aporte en conocimiento en base a los resultados obtenidos.

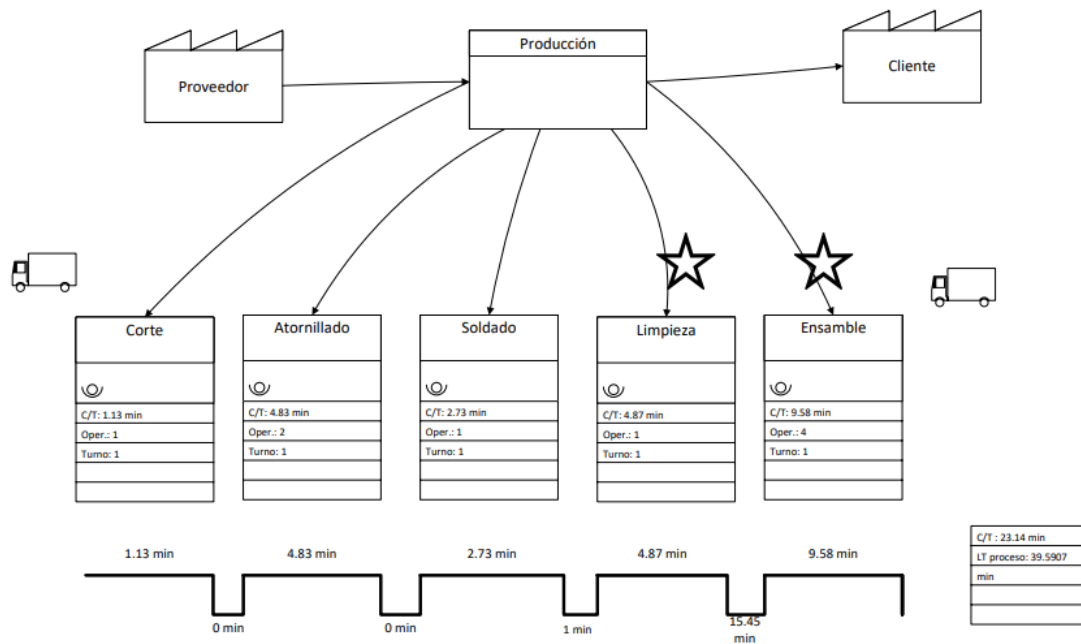
La presente investigación estará dividida en cinco partes. El primer capítulo será la introducción donde se incluirá la importancia de la investigación, el análisis del problema y los antecedentes. El segundo capítulo será el aporte de la investigación explicando la propuesta de la presente investigación. En tercer lugar, se presentarán los resultados de la investigación, para, de esta manera, dar pie al cuarto capítulo que es la discusión de los resultados. Por último, el quinto capítulo de la investigación será las conclusiones que ofrecerá la investigación.

JUSTIFICACIÓN

El año pasado, la empresa tuvo una productividad de 64.47%, debido a que, se cuenta con una eficiencia de 90% y una eficacia de 71.63%. Como resultado de lo no elaborado, se ha logrado estimar que la empresa dejó de ingresar una cifra cercana a los USD 314,250 que representa el 29.37% de los ingresos. Además, se falta al compromiso con sus clientes, lo que termina siendo perjudicial de cara a la imagen de la empresa y se estima que la empresa podría incurrir en una penalidad aproximada de USD 49,915.79. La eficiencia de la empresa no se encuentra dentro del rango recomendado, ya que según Rahman “el valor estándar de la eficiencia en productividad debería ser superior al 95% para lograr un mantenimiento productivo total” (Rahman, Md.Sumon, 2018). A continuación, se presenta el proceso de producción de una ventana en la figura 2.1.

Figura 2.1

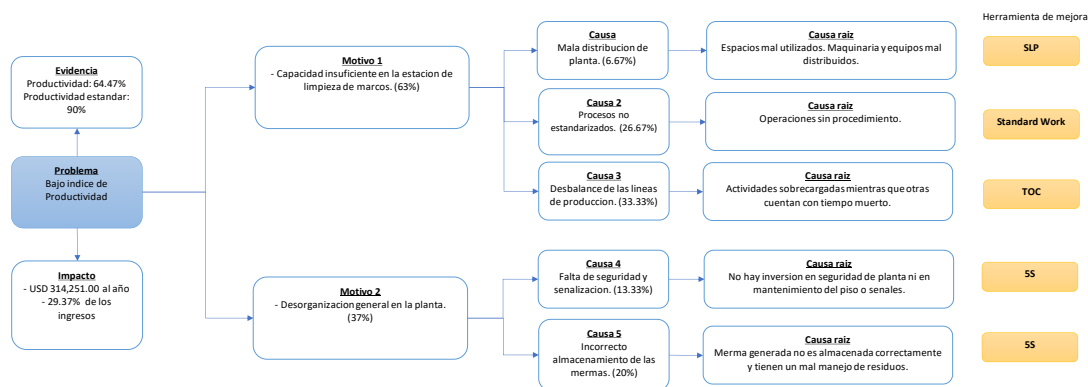
VSM del proceso



Un motivo de que la empresa tenga baja productividad y finalice el año con pedidos inconclusos, es el cuello de botella generado en la actividad de limpieza. Esto se debe a la ineficiente distribución de la planta, los procesos no estandarizados y el desbalance de las líneas de producción. Otro motivo es la desorganización general en planta, ya que la planta que carece de señalización y seguridad, y se almacena de manera incorrecta de la merma generada. A continuación, se presenta un árbol de problemas en la figura 2.2.

Figura 2.2

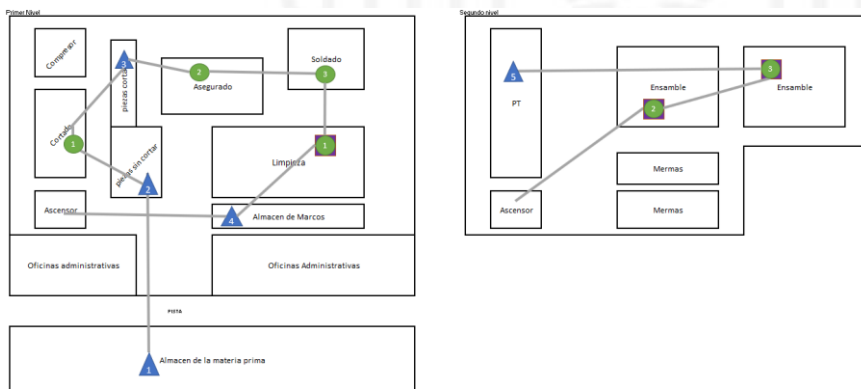
Árbol de Problemas de la Empresa



En primer lugar, respecto a la ineficiente distribución de la planta, se evidenció, mediante la figura 2.3, que hay espacios que se utilizan de manera óptima, como la ubicación del ascensor, que genera que los operarios tengan que realizar traslados innecesarios y que se cuente con menos espacio para la ubicación de su maquinaria y equipos. Para solucionar la ineficiente distribución de la fábrica, se plantea el uso de la herramienta SLP con la finalidad de optimizar la distribución, evitando que los operarios tengan que realizar traslados innecesarios y que haya un flujo de trabajo continuo.

Figura 2.3

Diagrama de recorrido de la planta



Otra posible causa que genera el cuello de botella es que la planta no cuente con todos sus procesos estandarizados. Tal como se evidenció y se ha contrastado con el balance, no todas las operaciones estaban estandarizadas. Se observó que los operarios conocían la técnica de las operaciones que realizaban, pero no contaban con un procedimiento establecido. Un caso puntual, fue ver como el mismo operario que limpiaba los marcos, se encargaba de los traslados. Esto le consumía tiempo y por eso se acumulaban marcos en el área de limpieza. Debido a esto, se podría

reorganizar la cantidad de operarios por estación, ya que algunas operaciones contaban con tiempo muerto y otras carecían de los operarios suficientes. Para solucionar esta causa, se propone estandarizar los procedimientos, aplicando la herramienta Standard Work.

Por otro lado, otra causa de que la actividad de limpieza no cuente con capacidad para darse abasto, es el desbalance en las líneas del proceso. Esto se evidenció mediante un balance de materia y el cálculo de tamaño de planta. Dentro del análisis, se ha podido inferir que aplicar la teoría de restricciones (TOC) permitirá corregir las restricciones que obstruyen la mejora del proceso de producción.

Respecto a la desorganización general de la planta se evidenció que carecía de señalización y seguridad, ya que se observó el piso con grietas y sin señalizaciones, lo cual es perjudicial para los operarios y podría causar accidentes. Para poder solucionar este problema de señalización y seguridad, se plantea utilizar la herramienta 5S. Esta permite poder organizar la planta, clasificar las estaciones de trabajo y actividades, limpiar los errores e imperfectos y estandarizar la planta para lograr una mejora continua.

Asimismo, otra causa de la desorganización general es debido a que no se cuenta con un lugar donde se colocan las mermas. El volumen de la merma generada es un volumen espacioso y pesado, ya que en su mayoría son retazos de PVC o marcos rotos o fallidos. Esta merma, es tratada de forma incorrecta y se convierte en estorbo que afecta a la productividad y a los trabajadores de la empresa. La herramienta con la que se plantea solucionar el problema del almacenamiento de las mermas sería la herramienta 5S, ya que esta permite estandarizar la planta. En la tabla 2.1, se muestran los indicadores estimados, junto con su valor objetivo.

Tabla 2.1

Indicadores estimados

Indicador	Productividad	Eficiencia	Eficacia
Actual	64.47%	90%	71.63%
Objetivo	85%	90%	90%

HIPÓTESIS (Si aplica)

[Especificar las hipótesis a validar, en caso aplique]

DISEÑO METODOLÓGICO

En cuanto al modelo que se utilizará para la presente investigación, nos basaremos en utilizar las herramientas descritas en el estado del arte, en conjunto, para solucionar los problemas presentes en una fábrica de ventanas herméticas. (Vargas Acha, J.A.; Aramburu Linares, T.; Quiroz Flores, J.C., 2022) afirman que la mayoría de las industrias peruanas son afectadas por contar con una baja productividad y eficiencia causadas por diversos factores. Para esto, se puede utilizar múltiples herramientas de ingeniería. Una de ellas es 5s, de Lean manufacturing. (Shahriar et al., 2022) utilizaron 5s para conseguir un incremento de la productividad. Por otro lado, también es importante la implementación de Standard Work, una herramienta de Lean manufacturing que (Antoniolli et al., 2017) utilizaron para incrementar el OEE y productividad en una planta del sector manufacturero. Otra herramienta que asiste en solucionar problemas es la de TOC, que (Mahdi et al., 2021) utilizaron para incrementar el ROI y los ingresos de una fábrica de bebidas. Finalmente, SLP, una herramienta para rediseñar la distribución de planta fue utilizada por (Zulkifli et al., 2017) para mejorar la productividad y eficiencia de una planta automotriz.

En base a la investigación y revisión previa de artículos científicos, se propone un nuevo modelo de gestión de producción, implementando herramientas como 5s, SLP, Standard Work y TOC para la optimización del proceso de producción en una planta manufacturera de ventanas herméticas. El modelo está conformado por 5 fases, siguiendo la metodología TOC, las cuales son las siguientes: 1) Diagnóstico de los problemas e identificación de las restricciones del sistema; 2) Explotar las restricciones del sistema mediante la implementación de SLP y Standard Work; 3) Organizar y ordenar el proceso aplicando 5S; 4) Verificación de las mejoras aplicadas mediante revisión; 5) Volver al paso 1, identificando nuevas restricciones siguiendo con la mejora continua. En la tabla 4.1, se muestra la matriz comparativa, donde se aprecian distintas investigaciones donde se aplican las herramientas descritas anteriormente.

Tabla 4.1

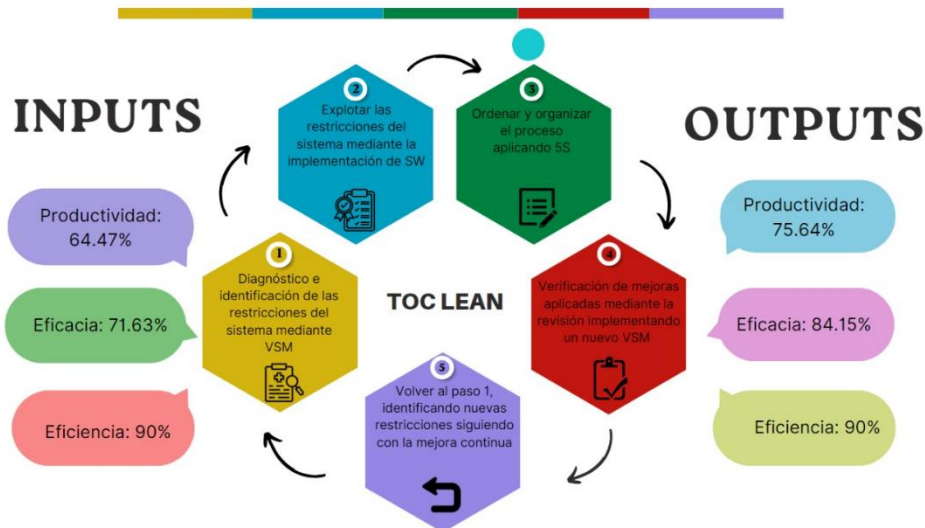
Matriz comparativa

Artículos Científicos/ Causas u Objetivos	Aumento de Productividad/ Eficiencia / Eficacia	Mejora de procesos	Estandarización de procesos
Shahriar et al., 2022	Lean manufacturing - 5s	Lean manufacturing - 5s	
Antoniolli et al., 2017	Lean manufacturing - Standard Work (SW)		Lean manufacturing - Standard Work (SW),
Mahdi et al., 2021	Teoría de restricciones	Teoría de restricciones	
Zulkifli et al., 2017	SLP, Balance de líneas		
Propuesta	TOC, 5S, SW	5S, TOC	Standard Work

A continuación, en la figura 4.1, se presenta la figura principal de la propuesta.

Figura 4.1

Figura principal de la propuesta



El modelo propuesto utiliza varias herramientas de ingeniería en conjunto, para así maximizar el efecto que logra cada una y lograr un mayor aumento de la productividad. Este modelo se basa en la aplicación de las 5 fases de TOC, implementando herramientas como 5S, Standard Work y SLP a lo largo del proceso. A continuación, se entrará en detalle sobre cada una de ellas.

- **FASE 1**

El modelo propuesto inicia con la fase 1. Esta fase consiste en el diagnóstico de los problemas, identificando las restricciones presentes en el proceso. Para esta fase, se realiza un diagrama de operaciones del proceso, diagrama de recorrido, análisis relacional, balance de materia para realizar un correcto diagnóstico e identificar las restricciones y sus causas raíz.

- **FASE 2**

Esta fase consistirá en la implementación de la herramienta de ingeniería: Standard Work. En primer lugar, se inicia con la implementación de Standard Work (SW). Se empieza describiendo el proceso y el tiempo tomado por cada operación de maquinaria y manual (actividades de los operarios). Luego se define que tipo de actividad es cada una (VA o NVA), donde “VA” significa “actividad que añade valor” y “NVA” significa “actividad que no añade valor”. El tiempo de ciclo es medido y se calcula el tiempo de ciclo promedio. Luego, se realizan las tablas de producción para operaciones de maquinaria y manuales. Después, se realiza una secuencia de operaciones combinadas de producción, dentro del cuadro, se determina si son VA o NVA. Después, se realizan propuestas para

eliminar los NVA identificados anteriormente. Finalmente, se realiza el Standard Work Combination Table (SWCT), donde se muestran las actividades de producción en una línea del tiempo, utilizando la data recolectada en los pasos anteriores. En cada operación se describen sugerencias para eliminar NVA. Se define la cantidad normalizada de work in process en cada estación de trabajo. Luego de implementar las propuestas, se analizan los resultados para ver si hubo mejoras.

- **FASE 3**

En la tercera fase se implementa la herramienta 5s. Se empieza con la primera S (Seiri), luego la segunda S (Seiton), tercera S (Seiso), cuarta S (Seiketsu) y la quinta S (Shitsuke). En esta fase se etiquetarán materiales, herramientas y mermas que ya no son necesarios en el proceso, removiéndolos o recolocándolos, se delimitarán áreas de trabajo y de circulación, señalizándolas. También se creará un plan de mantenimiento y limpieza, estandarizando los procesos de la planta mediante la implementación de guías de trabajo, tareas diarias, checklists, para finalmente mantener un estándar sobre cómo se debe operar para alcanzar las 5s correctamente, mediante la aplicación de incentivos y capacitaciones.

- **FASE 4**

La cuarta fase del modelo propuesto consiste en realizar un mapeo y evaluación de las mejoras propuestas, evaluando los nuevos indicadores obtenidos. En esta se comparan los nuevos indicadores, con los indicadores previos a la mejora.

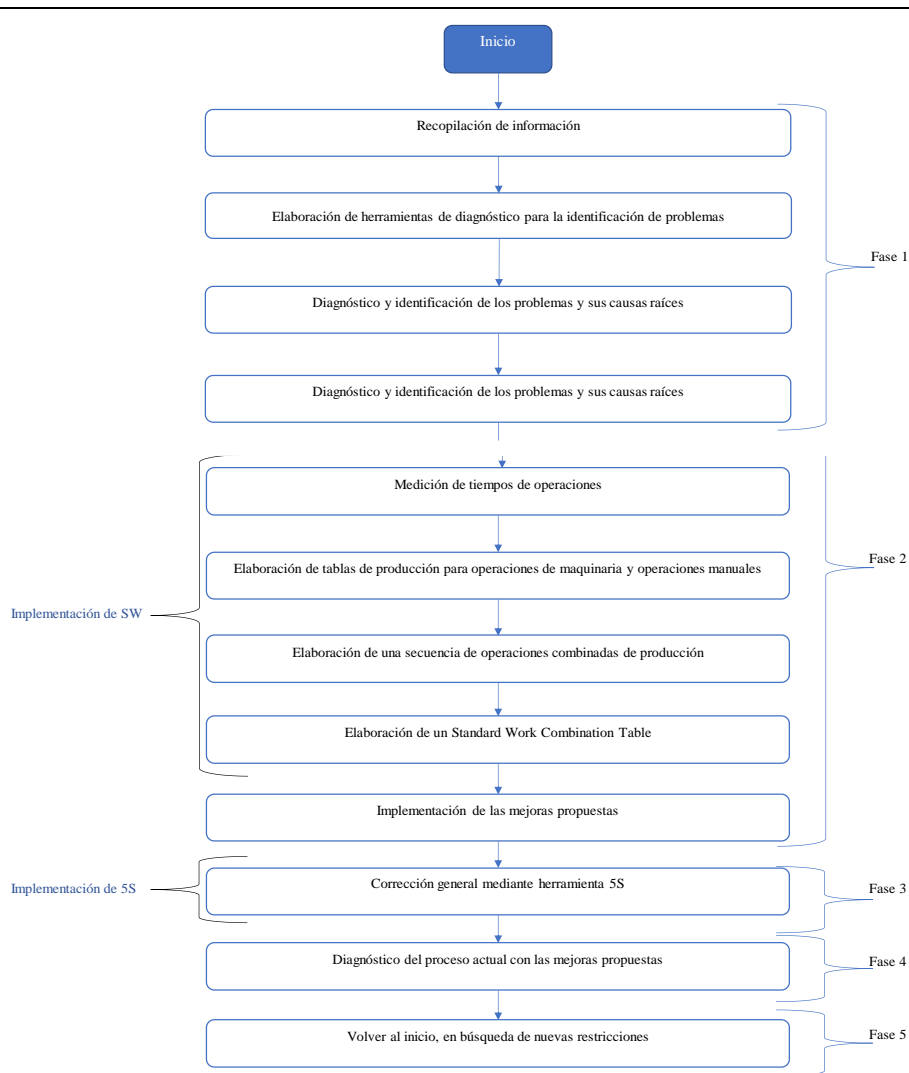
- **FASE 5**

La quinta fase consiste en retornar al primer paso con el objetivo de encontrar nuevas restricciones para volver a aplicar los 5 pasos de TOC y así lograr una mejora y crecimiento constante.

A continuación, en la figura 4.2, se presenta la propuesta de investigación.

Figura 4.2

Fases de la Propuesta



A continuación, se entrará en detalle sobre el objetivo de cada indicador a utilizar, junto con su fórmula e interpretación.

- Productividad: Eficiencia multiplicada por eficacia

$$Productividad = Eficiencia \times Eficacia$$

- Eficacia: Unidades producidas divididas entre unidades planificadas.

$$Eficacia = \frac{Unidades\ Producidas}{Unidades\ Planificadas}$$

- Eficiencia: Metros lineales que ingresan divididos entre metros lineales que salen.

$$Eficiencia = \frac{Metros\ Lineales\ que\ ingresan}{Metros\ Lineales\ que\ salen}$$

NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

REFERENCIAS

Andrade, A. M., del Río, C. A., & Alvear, D. L. (2019). A study on time and motion to increase the efficiency of a shoe manufacturing company | Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado. *Informacion Tecnologica*, 30(3), 83–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083>

Aisyah, S., Purba, H. H., & Septian, D. S. (2020). Analysis Work Standardization Using The Standardized Work Combination Table on CNC of Mission Case Line Process at PT Astra Otoparts, Tbk - Nusametal Division. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 1003(1) <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012044>

Antoniolli, I., Guariente, P., Pereira, T., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2017). Standardization and optimization of an automotive components production line. *Procedia Manufacturing*, 13, 1120-1127. doi:10.1016/j.promfg.2017.09.173

Ali, A. M. M., & Jabir, S. M. (2022). Using attribute-based costing and theory of constraints for product-mix decisions: an empirical study in Iraq. *Journal of Management Information & Decision Sciences*, 25, 1–10. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=154576679&lang=es&site=ehost-live>

Ali Naqvi, S. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>

Febriandini, I. F., & Yuniaristanto. (2019). Re-design Facility Layout using Systematic Layout Planning Method: A Case Study : ro Cosmeceutical Sdn. Bhd. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 495(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012027>

Goyal, G., & Verma, D. S. (2019). Optimization of plant layout in manufacturing industry. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 3115–3118. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B2679.078219>

Gupta, S., & Chandna, P. (2019). Implementation of 5S in scientific equipment company. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 107-111. doi:10.35940/ijrte.C3894.098319

Mahdi, Z. H., Abboud, A. H., & Hussain, B. B. (2021). The use of Constraints Theory in Managing, Reducing Costs and Improving Profitability (Study in Baghdad Soft Drinks Company). *Review of International Geographical Education Online*, 11(5), 3576–3582. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eue&AN=152946204&lang=es&site=ehost-live>

Monnanyana, O., & Gupta, K. (2021). A Case Study on Implementation of 5S in a Manufacturing Plant to Improve Operational Effectiveness. *EDP Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/202134603109>

Mor, R. S., Bhardwaj, A., Singh, S., & Sachdeva, A. (2019). Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company: IMS. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(6), 899-919. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2017-0151>

[PAREDES-RODRIGUEZ, A. M.\(2017\)](https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2017-0151). Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio. *Universidad del Valle, Cali, Colombia*. <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v13n1/1900-3803-entra-13-01-00262.pdf>

Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, 8 doi:10.1016/j.clet.2022.100488

Urban, W., & Rogowska, P. (2020). Methodology for bottleneck identification in a production system when implementing TOC. *Engineering Management in Production and Services*, 12(2), 74–82. <https://doi.org/10.2478/emj-2020-0012>

Vargas-Acha, J.A., Aramburu-Linares, T. & Quiroz-Flores J. C. (2022) Application of the SMED method to increase the efficiency of the sealing process in a Peruvian company that produces flexible plastic. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, March 7-10, 2022*

Zulkifli, N., bin Md Yasir, A. S. H., & Abd Aziz, F. (2017). Systematic planning layout and line balancing for improvement in an armoured vehicle manufacturing plant. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 1702–1705.

The insulating glass window market is projected to grow from USD 12.8 billion in 2020 to USD 16.2 billion by 2025, at a CAGR of 4.8% from 2020 to 2025: The key factors for the growth of the insulating glass window market such as optimal energy saving performance of insulating glass windows, the growing construction industry in regions like the Middle East and Asia Pacific, and the rising demand for value added glass products are driving factors for growth of insulating glass window market. (2020, Oct 08). *NASDAQ OMX's News Release Distribution Channel*. http://fresno.ulima.edu.pe/ss_bd00102.nsf/RecursoReferido?OpenForm&id=PROQUEST-41716&url=https://www.proquest.com/wire-feeds/insulating-glass-window-market-is-projected-grow/docview/2449093149/se-2?accountid=45277

Rizkya, I., Syahputri, K., Sari, R. M., & Siregar, I. (2019). 5S implementation in welding workshop-A lean tool in waste minimization. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, , 505(1) doi:10.1088/1757-899X/505/1/012018 Retrieved from www.scopus.com

ANEXOS.

Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Application of Lean Manufacturing and TOC to Increase Productivity in a Company in the Hermetic Windows Sector
- **Autores:** Giancarlo Robello Ponce
- **Co autor(es):** Edilberto Miguel Avalos-Ortecho

Publicación en revista

- **Nombre de la revista:** 8th North America Conference on Industrial Engineering and Operations Management , Houston, United States of America
- **Volumen:** II
- **Número:** 234
- **Año:** 2023
- **Pp:** June 13-15, 2023
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/13447>

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** 8th North America Conference on Industrial Engineering and Operations Management , Houston, United States of America
- **Organizador:** IEOM Society International
- **Sede:** Houston
- **Año:** 2023
- **Pp:** June 13-15, 2023
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/13447>

Revisión de porcentaje de coincidencia

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

ieomsociety.org

Fuente de Internet

2%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

www.ieomsociety.org

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.ulima.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

www.pearltrees.com

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to American University of the Middle East

Trabajo del estudiante

<1%

7

Submitted to Heriot-Watt University

Trabajo del estudiante

<1%

8

www.abacademies.org

Fuente de Internet

<1%