

# Methodology to increase productivity in a metal-mechanical Tee production company using Lean Manufacturing, Systematic Layout Planning and TOPSIS

Cairo Tineo, Fernando Abad, BSc<sup>1</sup>, Condori Dávila, Marian Gemma, BSc<sup>2</sup>,  
José Antonio Rojas García, PhD<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Perú, U20181c753@upc.edu.pe, <sup>2</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Perú U201817473@upc.edu.pe, <sup>3</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Perú, pcinjroj@upc.edu.pe

*Abstract— The manufacturing sector is one of the main engines of the Peruvian economy, this sector in 2022 will represent 11.7% of the Gross Domestic Product (GDP) and within this sector is the manufacturing subsector of various metallic materials, which It contributes an average of 0.6% to the national GDP, this value being constant in recent years. This sector is of utmost importance due to the various products it generates: machinery, equipment, facilities and supplies that are used in the various industrial sectors: construction, transportation, electricity, fishing and its main supplier, mining. In this context we find mypes, which, although they represent only 9.6% of the total number of Peruvian companies, are a critical group due to their high employability and low productivity which is affected, among others, by the following factors: a) disarticulation business, b) inappropriate use of technology, c) poor operational capabilities, d) limited management capabilities, e) poor planning of operations. Therefore, one of the main needs of this subsector is to have a management model that allows improving the productivity of companies in the short term using appropriate management tools; Therefore, the objective of this research is to contribute to the innovation of production processes and plant distribution with the aim of increasing the productivity and profitability of this type of companies through the application of Lean Manufacturing, Systematic Layout methodologies. Planning and Topsis.*

*Keywords-- — Productivity, mype, lean manufacturing, Systematic Layout Planning, Topsis*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).  
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).  
DO NOT REMOVE

# Metodología para incrementar la productividad en una mype metalmeccánica de producción de Tees utilizando Lean Manufacturing, Systematic Layout Planning y TOPSIS

Cairo Tineo, Fernando Abad, BSc<sup>1</sup>, Condori Dávila, Marian Gemma, BSc<sup>2</sup>,

Jon Arambarri, PhD<sup>3</sup>, Cynthia Elías Giordano Mg<sup>4</sup>, José Antonio Rojas García, PhD<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Perú, U20181c753@upc.edu.pe, <sup>2</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Perú U201817473@upc.edu.pe, <sup>3</sup>Universidad Europea del Atlántico, Facultad de Ingeniería,

jon.arambarri@uneatlantico.es, <sup>4</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Perú, pcinceli@upc.edu.pe, <sup>5</sup>Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Perú, pcinjroj@upc.edu.pe

**Abstract**— *El sector manufactura es de los principales motores de la economía peruana, este sector en el año 2022 represento el 11.7 % del Producto Bruto Interno (PBI) y dentro de este sector se encuentra el subsector de fabricación de materiales metálicos diversos, el cual aporta en promedio un 0.6 % al PBI nacional siendo constante este valor en los últimos años, este sector es de suma importancia debido a los diversos productos que genera: maquinaria, equipos, instalaciones y suministros que se emplean en los diversos sectores industriales: construcción, transporte, electricidad, pesca y su principal abastecedora la minería. En este contexto se encuentran las mypes, que, aunque representan solo el 9,6 % del total de empresas peruanas, es un grupo crítico por su alta empleabilidad y baja productividad la cual se ve afectada entre otros por los siguientes factores: a) desarticulación empresarial, b) uso inadecuado de la tecnología, c) escasas capacidades operativas, d) limitadas capacidades gerenciales, e) deficiente planificación de las operaciones. Por ello, una de las principales necesidades de este subsector es contar con un modelo de gestión que permitan mejorar la productividad de las empresas en el corto plazo utilizando herramientas de gestión adecuadas; por lo tanto, en esta investigación se tiene como objetivo el contribuir a la innovación de los procesos productivos y de distribución de planta con el objetivo de incrementar la productividad y rentabilidad de este tipo de empresas mediante la aplicación de las metodologías Lean Manufacturing, Systematic Layout Planning y Topsis.*

**Keywords**-- — *Productividad, mype, lean manufacturing, Systematic Layout Planning, Topsis.*

## I. INTRODUCCIÓN

La economía peruana es la sexta economía más grande de América Latina y el Caribe, con un PBI equivalente a USD 231 mil millones y el quinto Producto Bruto Interno (PBI) per cápita de la región sudamericana. Esta posición se ha logrado gracias a que, en las últimas dos décadas, la actividad económica creció a un ritmo promedio anual del 4,8 %, el más alto de la región,

lo que le permitió casi cuadruplicar su ingreso per cápita, mientras el promedio de la región en su conjunto apenas aumentó 1,6 veces [1]. Dentro de los componentes del PBI peruano se encuentra el sector manufactura, es cual es de los principales motores de la economía, este sector en el año 2022 represento el 11.7 % y dentro de este sector se encuentra el subsector de fabricación de materiales metálicos diversos, el cual aporta en promedio un 0.6 % al PBI peruano siendo constante este valor en los últimos años. [2]

Por otro lado, a principios del año se proyectó un crecimiento de la manufactura peruana para los próximos dos años, expandiéndose un 2% en el año 2023 y un 2.2 % en el año 2024, lo cual supera las expectativas iniciales de crecimiento de 1.8 % en el año 2023 y del 2.1 % en el año 2024[2], lo que impulsaría el empleo y bienestar a las familias peruanas [3]; sin embargo, los datos reales del mes de enero reflejaron un incremento del 1.08 % solamente del sector manufactura, siendo los principales factores que impidieron el mayor crecimiento aspectos políticos del país. [4]

Uno de los factores a considerar para el desarrollo del sector manufacturero está relacionado con la productividad, este sector cuenta según estudios con una baja productividad y heterogeneidad al interior del sector. Ejemplos de esta heterogeneidad se pueden ubicar entre los establecimientos formales, donde la productividad laboral de las grandes empresas es casi 3 veces mayor a la de las pequeñas, y por otro lado la productividad del trabajo de la rama de industrias metálicas supera en más de 5 veces la productividad de la industria textil y de cuero[5]. Dentro del sector manufacturero, se encuentra el sector metalmeccánico cuya importancia se sustenta en los usos diversos de los productos que genera: maquinaria, equipos, instalaciones y suministros que se emplean en los diversos sectores industriales: la construcción, transporte, electricidad, pesca y su principal abastecedora la minería.[6]

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LEIRD).  
**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LEIRD).  
**DO NOT REMOVE**

En este sub sector las mypes representan sólo el 9,6% del total de empresas, sin embargo, es un grupo crítico por su alta empleabilidad y baja productividad, es en este último caso donde la productividad se ve afectada por los siguientes factores principalmente: a) desarticulación empresarial, b) uso inadecuado de la tecnología, c) dificultad de acceso a financiamiento, d) escasas capacidades operativas, e) limitadas capacidades gerenciales, e) problemas de información e informalidad, f) limitado capital humano, estructural y relacional, g) deficiente planificación de las operaciones. Por ello, una de las principales necesidades de este subsector es contar con un modelo de gestión que de flexibilidad a la empresa y capacidad de respuesta a los cambios tecnológicos y demanda de mercado.[7]

Dentro de los aspectos anteriores es precisamente la deficiente planificación de las operaciones un aspecto fundamental en el desarrollo de la productividad, esta planificación de las operaciones esta relacionada con procesos diseñados con el objetivo de lograr un adecuado uso de recursos, minimizando los desperdicios y soportados entre otros aspectos con una eficiente distribución de planta, entendiéndose por esta última como el conseguir que la circulación de los materiales sea fluida a lo largo del proceso evitando así el costo que suponen las esperas y demoras que tiene lugar cuando se detiene dicha circulación.

Por lo tanto, el uso de herramientas de gestión utilizadas en conjunto con la tecnología en diversos es uno de los grandes desafíos para las compañías manufactureras, por lo que la motivación de la presente investigación es establecer un modelo basado en las metodologías Lean Manufacturing, Systematic Layout Planning y Topsis que contribuya al desarrollo de las empresas metalmeccánicas peruanas.

El presente artículo se divide en 5 secciones las cuales son: la sección 1 presenta la introducción, la sección 2 presenta el Estado del Arte que señala investigaciones actuales acerca de temas influyentes al contexto del problema y propuesta de solución, la sección 3 que se basa en el aporte causado por la innovación de las herramientas propuestas, la sección 4 evidencia el proceso de validación de manera cuantitativa y los principales resultados y finalmente la última sección muestra las conclusiones de la investigación y los temas de exploración que puedan surgir en el futuro

## II ESTADO DEL ARTE.

### A. *Lean Manufacturing (LM)*

Esta metodología se entiende como un conjunto de herramientas o técnicas orientadas hacia la detección y eliminación de desperdicios o *mudas*, que son aquellas actividades que no agregan valor a los procesos como la sobreproducción, tiempos de espera, transportes, movimientos innecesarios, reprocesos, stock y defectos [8].

Cabe precisar el concepto de LM, establece que la mejora de la competitividad de las empresas se incrementa al reducir sus desperdicios, existen diferentes herramientas que permiten

a las empresas la reducción de desperdicios de forma sistemática, entre las que se tienen: [9].

#### 1) *Value Stream Mapping (VSM)*

También llamado mapa de flujo es una herramienta que se utiliza como primer paso en la implementación de Lean Manufacturing. El propósito de esta herramienta es el de mapear los diferentes flujos de material e información que abarca desde los proveedores, fabricación y distribución hasta el cliente final; lo que permite identificar procesos que no agregan valor y proponer mejoras [10], así mismo contribuye a reducir los tiempos de entrega y el inventario en proceso lo que conduce a incrementar la eficiencia [11].

A partir de la creación de un mapa de flujo de valor actual es posible proponer un flujo de operaciones más eficiente en base a la mejora de aquellas actividades que no generan valor y que se han identificado previamente, lo que contribuye al incremento de la productividad de los procesos [12]

#### *Single Minute Exchange of Die (SMED)*

Esta herramienta agiliza los procesos de cambio o configuración de máquinas o instalaciones, reduciendo considerablemente los tiempos de preparación lo que supone un incremento de la productividad. El tiempo de preparación es aquel tiempo que transcurre entre el último producto realizado de un lote ya terminado y el primero de un nuevo lote, este proceso incluye el desmontaje, reinicio y montaje de la máquina, entre otras actividades que se realizan para su preparación [13]. El SMED es una de las herramientas más utilizadas en el LM principales para reducir los desperdicios en procesos productivos al incrementar la capacidad de la producción de la máquina y ahorra costos asociados al realizar la configuración de las mismas, incrementando de esta forma el porcentaje de utilización de los equipos, impulsando la flexibilización de la producción y disminuyendo los tiempos de entrega [14].

En el SMED se reconocen dos tipos de elementos o actividades de cambio, estos son: a) los elementos internos, que están constituidos por actividades que se realizan con la máquina parada y b) elementos externos, que están constituidos por las actividades que se pueden realizar con la máquina en funcionamiento [15]. La implementación de esta herramienta consta de la identificación de elementos o actividades del proceso de cambio y medición de cada una de ellas, identificación de elementos externos e internos, transformación de internos en externos y finalmente la optimización de los elementos restantes mediante automatización de actividades e implementación de mejoras humanas y técnicas. [16]

Para una adecuada implementación del SMED es necesario que las empresas consideren tres etapas:

a) la etapa estratégica, donde se capacita al personal en el uso de herramienta.

b) la etapa preparatoria, donde se analizan las actividades de cambio, y,

c) la etapa de prueba, donde se separan los elementos internos y externos.

Diferentes estudios han mostrado que los resultados obtenidos tras la implementación de esta herramienta son satisfactorios, puesto que han contribuido a una reducción significativa del tiempo de configuración, un incremento de la capacidad productiva y la generación de ahorros e ingresos adicionales. En conclusión SMED es una herramienta efectiva para la reducción de desperdicio como lo son los tiempos de cambio excesivos [17]

#### *Poka Yoke*

Esta es una herramienta de calidad, del LM, la cual esta orientada a la prevención de fallas. Su enfoque esta en el control de procesos con alta probabilidad de falla humana, siendo su aplicación sencilla lo cual esta correlacionado con los niveles de inversión para su implementación los cuales son bajos [18].

Esta herramienta puede aplicarse en procesos productivos en serie o en proyectos, lo que dota de una gran agilidad en cuanto al ámbito de aplicación, así mismo es sumamente eficaz en la reducción del retrabajo, tiempos más rápidos de entrega y mayor cumplimiento de fechas de entrega[19]

#### 5'S

Esta herramienta permite mejoras en la productividad en base a la aplicación de principios basados en el orden en los procesos, esta herramienta no solo proporciona un marco para mejorar la rentabilidad de una empresa mediante la reducción de sus costos generados por desperdicios (o actividades innecesarias) sino que adicionalmente permite desarrollar otros factores importantes como la motivación del personal, la estandarización de sus procesos y las auditorías para supervisar la evolución de esta herramienta [20]

La aplicación de las 5's supone cinco etapas (de ahí su nombre) para su implementación exitosa, las cuales son:

##### 1. SEIRI. (CLASIFICACIÓN).

En esta etapa se clasifican los materiales indispensables para la ejecución del proceso, por lo tanto, todo elemento ajeno a este fin será considerado como innecesario y se eliminará o separará. Por lo tanto, el trabajador dispondrá de herramientas, materiales y demás elementos necesarios para su trabajo.

##### 2. SEITON (ORGANIZACIÓN)

La segunda etapa consiste en el ordenamiento de los elementos indispensables para el trabajo, lo cual facilita el desempeño de las tareas. El objetivo es eliminar o reducir los tiempos no productivos asociados a los desplazamientos innecesarios.

##### 3. SEIZO (LIMPIEZA)

En esta etapa, se elimina la suciedad del área de trabajo y se establecen estándares de orden y limpieza, lo cual influye en la motivación del trabajador, así como contribuye a la minimización de accidentes.

#### 4. SEIKETSU (ESTANDARIZAR)

En esta etapa se realiza una comprobación de las tres etapas anteriores por parte del trabajador, por lo cual, debe de entrenarse a los mismos en la identificación de este tipo de situaciones, lo que fomenta la pertenencia del trabajador en su puesto y los motiva a detectar pequeños fallos que puedan afectar el desempeño de los procesos.

#### 5.- SHITZUKE (SEGUIR MEJORANDO)

En esta etapa se fomenta la aplicación de las etapas anteriores con el objeto de desarrollar una cultura hacia la mejora continua, por lo cual, esta no debería de tener fin puesto que se basa en la mejora continua. [21]

#### *Kaizen*

Es una herramienta lean orientada hacia la mejora continua y se fundamenta en el ciclo PDCA de Deming [22]. Kaizen es la base de la metodología LM y se enfoca en realizar pequeñas mejoras en los procesos constantemente para llegar a la excelencia para lo cual requiere del esfuerzo de todos los colaboradores para alcanzar los objetivos [23]. Esta herramienta se compone de las fases *plan, do, check* y *act*, que significa planear, hacer, verificar y actuar, orientándose a la identificación de las causas raíz de los problemas e introduce medidas correctivas, así como procedimientos de control [24].

#### *B. Systematic Layout Planning (SLP)*

Esta metodología sirve para identificar la mejor alternativa de diseño de distribución de planta o layout. Este es importante, ya que un diseño eficiente mejora el desempeño y eficiencia de los procesos, puesto que se elige la mejor posición para las estaciones de trabajo, equipos e instalaciones, permitiendo optimizar el flujo de materiales que genera altos costos por altos tiempos de transferencia. [25]

Por ello un diseño adecuado con una ubicación de equipos favorable para cumplir con los objetivos productivos, reduce el tiempo de ciclo y los costos de transferencia o costos por manejo de materiales, siendo que el diseño de layout no solo influye en el desempeño de una empresa por disminuir el tiempo total de procesamiento, sino que puede incrementar la comodidad de los trabajadores al aplicar SLP con un enfoque ergonómico para mejorar su desempeño y posturas.[26]

Esta metodología se basa en tres fundamentos:

- a) Relaciones: que establece el grado de cercanía deseado entre las oficinas /áreas
- b) Espacio: donde se establece la cantidad, el tipo y la forma de la configuración de las cosas que se distribuirán
- c) Ajustes: referida a la disposición de las cosas en un mejor ajuste realista.

#### *Fases del SLP*

Las fases generales para lograr una adecuada distribución de planta son las siguientes:

*Fase I: Localización.* En esta fase se debe de identificar el área en que se pretende organizar las oficinas o planta, la

localización de la planta o edificio se debe seleccionar teniendo en cuenta condiciones sociales, climatológicas, vías de acceso, ubicación de clientes, ubicación de salas de venta y otras consideraciones. En el proceso de localización se debe definir la macro localización y seguidamente la micro localización.

Existen diversos métodos que se pueden utilizar en esta etapa como el de centro de gravedad, ubicación por programación línea, entre otros.

*Fase II: Planteamiento General.* En esta fase se dispone totalmente de toda la superficie a utilizar, por lo cual, se identifican los sectores y los recorridos de manera que la disposición general, los una y el aspecto general de cada área importante queden determinados.

*Fase III: Planteamiento Detallado .* En esta fase se determina el emplazamiento de cada uno de los elementos físicos (máquina y equipo) de las zonas que se ha planteado con anterioridad.

*Fase IV: Instalación.* En esta última fase, se ve la preparación de la instalación, la obtención del conforme de la dirección y los desplazamientos que requieren cada una de las máquinas y de los equipos. [27]

#### *Tipos de distribución de planta*

Dentro de los diferentes tipos de distribución de planta utilizados en términos generales se tienen las siguientes:

##### *a) Distribución por posición fija.*

Este tipo de distribución es la utilizada comúnmente en grandes proyectos y es aquella en que el material o el componente principal permanece en un lugar fijo, mientras que todas las herramientas, maquinaria, hombres, y otras piezas de material concurren con el producto a fabricar. Todo el trabajo se hace en un mismo lugar o el producto se ejecuta con el componente principal estacionado en una misma posición.

##### *b) Distribución por proceso o por función.*

En este tipo de distribución se agrupan las operaciones por tipo de proceso, y su objetivo es maximizar el uso de los recursos disponibles para la ejecución de trabajos.

##### *c) Distribución por producto.*

En esta distribución, un producto es el que se traslada a lo largo de las diferentes áreas o procesos de la organización, es utilizada en la producción continua o de grandes volúmenes con productos de alto grado de estandarización.[28]

#### *C.- TOPSIS*

Es un método de agregación compensatoria que compara un conjunto de alternativas, estandarizando los valores para cada criterio y calculando la distancia geométrica entre cada alternativa y la alternativa ideal, que es la mejor puntuación en cada criterio [29].

Esta herramienta emplea las valoraciones de las alternativas por cada criterio y los pesos de los criterios para

aplicar algoritmos y así hallar un ranking o un conjunto de alternativas óptimas, sin embargo, en entornos dinámicos, la importancia de los criterios puede cambiar según los requerimientos del mercado. En organizaciones con poca o mediana flexibilidad las decisiones de configuración de planta no tienen el mismo dinamismo que tienen los criterios [30]

Esta herramienta cuando es utilizada en la distribución de planta permite valorar un conjunto de alternativas de considerando aquellos criterios que buscan disminuir el flujo de materiales entre centros de trabajo, los costos, el número de centros de trabajo divididos y otros criterios que buscan balancear la utilización y la forma de las áreas. [31]

Para el establecimiento de la herramienta Topsis existen siete (7) pasos a considerar a fin de lograr la mejor solución posible siendo los siguientes:

Paso 1.- Creación de una matriz de evaluación que considere el total de alternativas y criterios.

Paso 2.- Estandariza la matriz

Paso 3.- Calcular la matriz ponderada.

Paso 4.- Determinar la peor alternativa posible alternativa y la mejor alternativa posible.

Paso 5.-Calcular el valor entre la mejor alternativa y la peor alternativa.

Paso 6.- Calcular la similitud con la peor condición y.

Paso 7.- Clasificar las soluciones según las alternativas considerando la solución ideal.[32]

Para la selección de la alternativa, se elige aquella que tenga la distancia geométrica más corta a la solución ideal y más larga de la solución negativa, las cuales son evaluadas en función de ciertos atributos.

El método Topsis cuenta con una serie de ventajas entre las que se encuentran:

a) La logia es racional y comprensible.

b) Los procesos de cálculo son sencillos.

c) La importancia de los pesos se incorporan en los procesos de comparación.

Sin embargo, también existen algunas desventajas a considerar en este método, entre las que se encuentran:

a) La existencia de un orden inverso.

b) Cuando las alternativas son muy similares, el orden depende del método de evaluación utilizado

c) No es útil para modelar variables cualitativas [33].

### III APORTE.

#### *A. Vista general.*

El modelo propuesto consiste en la implementación del método Topsis para elegir la alternativa idónea de distribución de planta, la metodología Systematic Layoy Planning para determinar el flujo de materiales y procesos y, la metodología de Lean Manufacturing con el objetivo de mejorar las operaciones mediante la eliminación de todas aquellas actividades que no generen valor.

El modelo propuesto considera el proceso productivo y las etapas consideradas en el mismo, así como los requerimientos de producción y recursos disponibles. En base a dichos requerimientos se establece el flujo ideal considerando los subprocesos en cada producto manufacturado, así como las áreas y distancias requeridas en cada etapa del proceso.

Posteriormente se realiza la secuencia del proceso ideal y se establecen las distancias a utilizar, generando diferentes opciones, con las herramientas SLP y Topsis se selecciona la distribución ideal, la cual será implementada. Cabe precisar que esta distribución elegida debe de contribuir a la mejora de la calidad de los productos y la mejora de la productividad al minimizar los tiempos de traslado innecesarios.

acciones a realizar para la modificación del flujo operativo considerando los requerimientos de la etapa 1, inicialmente se verificará el flujo de proceso a nivel macro, así como las áreas disponibles y restricciones de cada requerimiento, estableciéndose las opciones iniciales del layout

En la Fig. 1, se puede observar la forma en que interactúan estas metodologías propuestas con el objetivo de incrementar la productividad en un proceso productivo de una empresa metal mecánica.

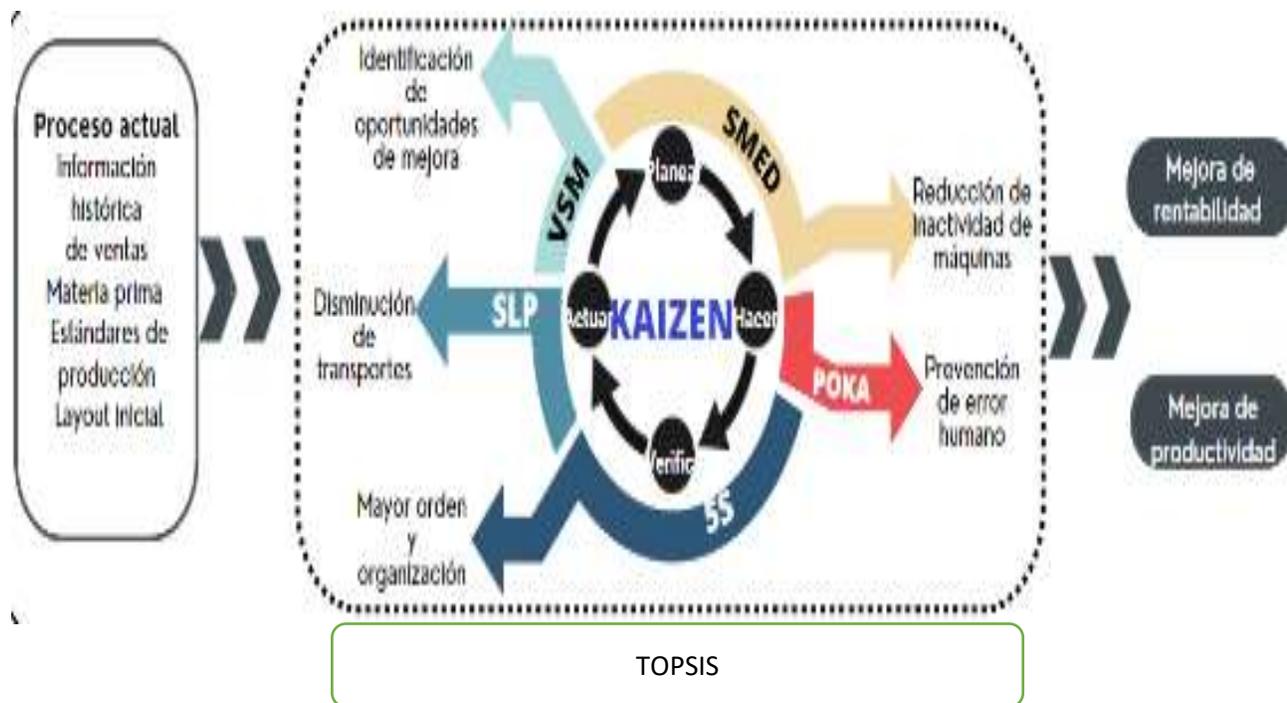


Figura 1 . Modelo propuesto

**B.- Vista de detalle.**

La metodología propuesta considera tres etapas a fin de lograr un incremento de la productividad.

**Etapas 1 Mejora de los procesos en base a Lean Manufacturing:** En esta etapa se desarrollarán las mejoras de los procesos utilizando Lean Manufacturing, los resultados se darán en dos etapas: por un lado se identificarán mejoras de los procesos utilizando Kaizen y SMED para incrementar la eficiencia del proceso productivo; por otro lado, se establecerán en base a la herramienta 5S los flujos óptimos de material y las áreas requeridas para cada sub proceso, el resultado de estas operaciones generará un VSM ideal que incluirá los requerimientos de la distribución del proceso productivo.

**Etapas 2 Proceso de planificación del Layout en base al SLP.** En esta etapa, se identificarán las áreas disponibles y

**Etapas 3 (aplicación de Topsis).** En esta etapa se desarrollarán las matrices de alternativas y criterios mediante los cuales se identificarán y clasificarán las posibles distribuciones de planta, esto permitirá establecer la distribución óptima y sus alternativas por orden de funcionalidad, previo a su implementación, deberá de validarse la distribución elegida mediante el VSM y proceso general a fin de evitar inconsistencias.

Una vez validada la opción de procederá a realizar la implementación de la nueva área disponible, en caso exista alguna discrepancia con la propuesta se revisará nuevamente el proceso para validar la mejor opción.

En la Fig. 2 se muestra la metodología propuesta.

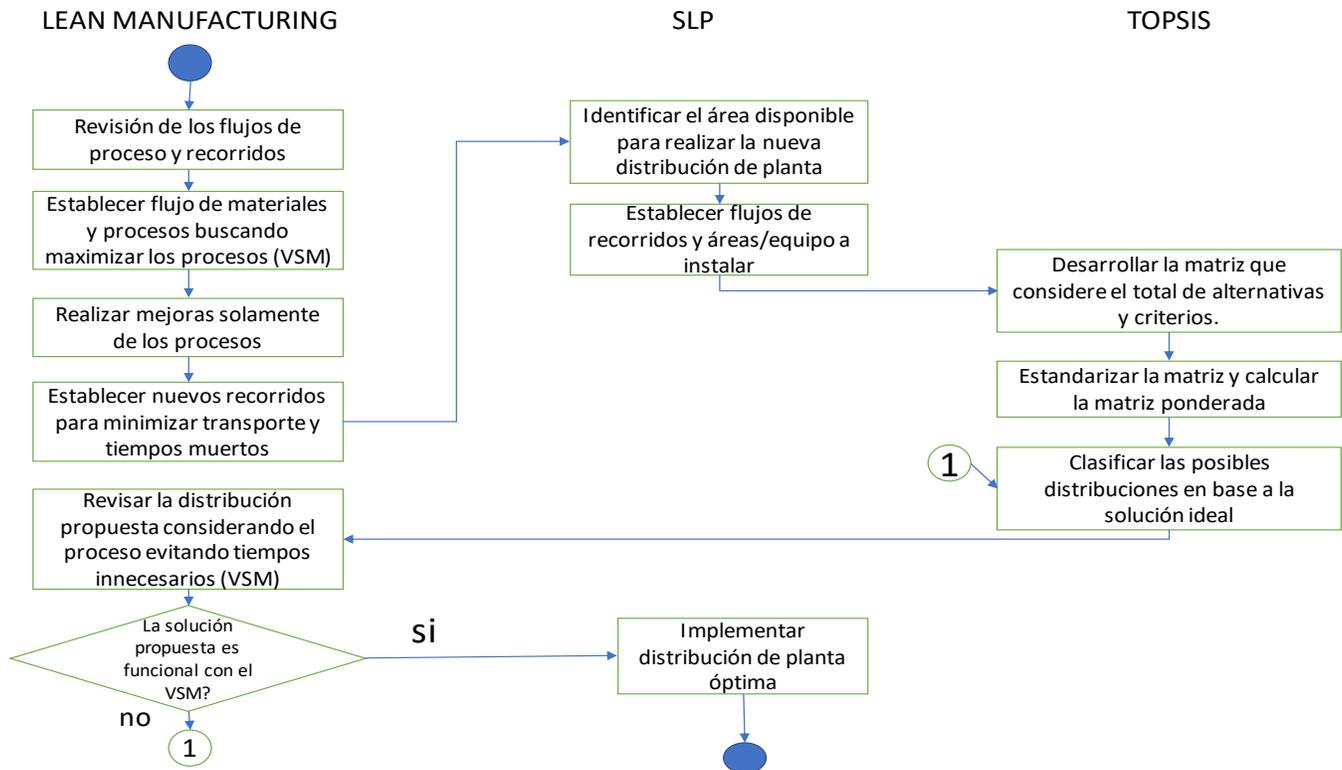


Fig. 2. Metodología propuesta

### C.-Vista de proceso

#### Proceso de mejora de las mudas (Lean Manufacturing).

El proceso de mejora de las mudas inicia con una revisión de los flujos actuales del proceso productivo, para un adecuado análisis del proceso se debe de desarrollar un VSM que permita identificar en los diferentes subprocesos aquellas actividades que generan esperas o tiempos perdidos (cuellos de botella), así como los inventarios y transportes no necesarios; una vez identificadas las actividades que no generan valor se procederá a mejorar el proceso utilizando las herramientas que provee el LM dependiendo del caso, para finalmente establecer los requerimientos de transporte y de reubicación de equipos o posiciones de trabajo, con el objetivo de incrementar al máximo productividad del proceso.

Estos requerimientos de transporte serán acompañados de una propuesta con un VSM ideal que contemple todos los requisitos del nuevo proceso y las eficiencias que se esperan alcanzar en el mismo. En la Fig. 3 se muestra el proceso establecido.

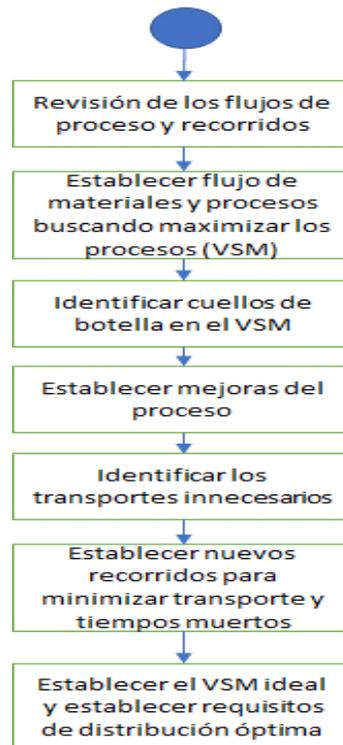


Fig. 3. Proceso de mejora de las mudas (Lean Manufacturing).

*Proceso de mejora de distribución de planta (Topsis y LPS).*

El proceso de mejora de la distribución de planta, consiste en la utilización del LPS y de Topsis de forma integrada con el objetivo de proveer una adecuada ubicación de equipos de trabajo o maquinaria que de soporte a las mejoras planteadas en el LM con el fin de impulsar la productividad al máximo y la eliminación de los desperdicios generados durante el proceso.

El proceso inicia con los requerimientos de reubicación de equipos o maquinaria provistos desde el proceso de mejora de mudas, adicionalmente se recibe el VSM ideal que permita establecer el objetivo en base a productividad que se requiere. Posteriormente se identifican las áreas disponibles acorde a los requerimientos a fin de poder implementar la nueva distribución de planta, el siguiente paso es establecer los flujos de recorridos en las áreas y las modificaciones de las áreas considerando los procesos productivos y los equipos de trabajo.

Con la información anterior se procede a desarrollar la matriz de solución que considere el total de alternativas y criterios para la nueva distribución, el siguiente paso es estandarizar la matriz y generar la matriz ponderada que servirá de base para la clasificación de las posibles distribuciones de planta, esta matriz ponderada genera las propuestas en base a la solución ideal.

Ya con la matriz seleccionada, se revisará la misma y su aplicación con el VSM ideal, validándose así la distribución antes de proceder a la reubicación de las áreas; finalmente, se implementará la nueva distribución de planta. En la Fig. 4 se muestra el proceso de mejora de la distribución de planta.

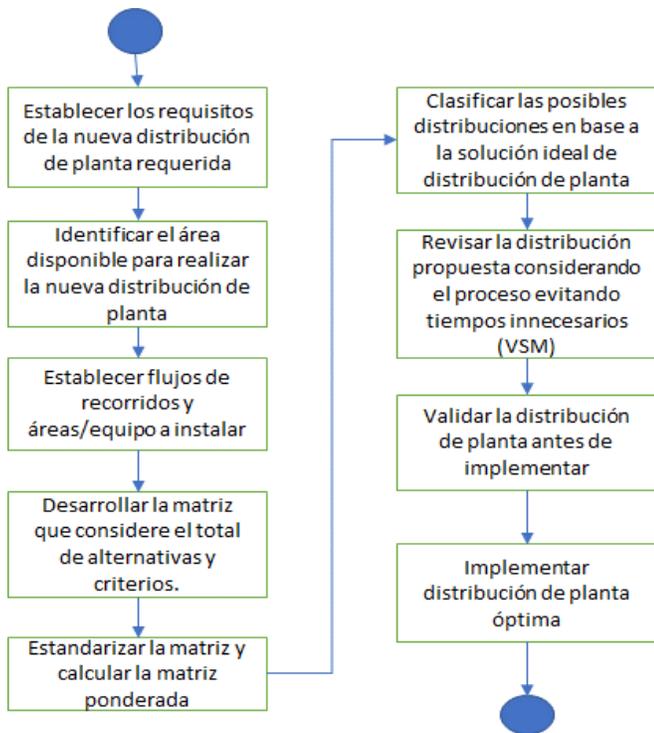


Fig. 4 Proceso de mejora de distribución de planta.

*E.-Vista de Indicadores.*

Los principales indicadores para la metodología propuesta son los siguientes:

*Índice de productividad del proceso.*

Este indicador mide la productividad del proceso productivo comparando los tiempos productivos antes de la mejora y posterior a la mejora.

$$\text{Índice de productividad} = \frac{\text{Tiempo de operación del proceso}}{\text{Tiempo total disponible}}$$

*Porcentaje de mejora del tiempo del ciclo*

Este indicador mide la mejora del tiempo del ciclo total tiempo posterior a la mejora de procesos y los tiempos antes de la implementación de las mejoras de los procesos.

$$\% \text{ mejora tiempo de ciclo} = 1 - \left( \frac{\text{Tiempo de ciclo posterior a la mejora}}{\text{Tiempo de ciclo previo a la mejora}} \right)$$

*Porcentaje de mejora del tiempo de traslado interno.*

Este indicador mide los tiempos de traslado de los productos en el proceso y esta relacionado con la distribución de planta.

$$\% \text{ mejora tiempo traslado} = 1 - \left( \frac{\text{Tiempo de traslado posterior a la mejora}}{\text{Tiempo de traslado previo a la mejora}} \right)$$

IV. VALIDACIÓN.

*4.1 Caso de estudio.*

El caso de estudio donde se implemento la metodología propuesta es una mype metalmecánica la cual brinda productos para la industria automotriz , esta empresa inicio operaciones desde el año 2018.

Sus principales productos están dirigidos hacia los sistemas de conversión de combustible y en especial en la fabricación de piezas denominadas “Tees”, que son piezas que permiten la conversión del sistema de combustible de vehículos de GNV y GLP.

*4.2 Diagnóstico.*

La empresa objeto de estudio ha venido incrementado sus ventas en los últimos años a tasas promedio de crecimiento de 35 %, sin embargo, la utilidad real ha pasado del 9 % al 10.98 % en el mismo periodo de tiempo lo genera una desventaja competitiva.

Al analizarse los costos de la organización, se identificaron una serie de problemas los cuales se detallan a continuación:

- ✓ Tiempo improductivo de las maquinas 45 %
- ✓ Tiempo excesivo de producción 38 %
- ✓ Transporte innecesario 35 %

En la Tabla I se muestran las principales magnitudes de desempeño de la empresa.

Tabla I. Magnitudes de desempeño

Variable	Valor
Tiempo muerto por problemas de proceso	40 minutos
Tiempos de traslado de los productos en el proceso	117 segundos
Porcentaje de productos defectuoso	5 %
Tiempo de ciclo	232 segundos

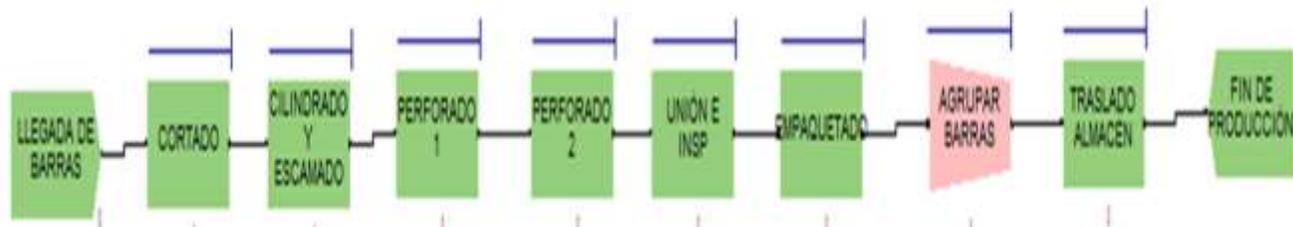


Fig. 5. Simulación

#### 4.3 Resultados.

En base a la implementación de la metodología se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Resultados de Implementación

Variable	Valor antes de la implementación	Valor después de la implementación	% de mejora
Tiempo muerto por problemas de proceso	40 minutos	20 minutos	50 %
Tiempos de traslado de los productos en el proceso	117 segundos	73 segundos	37.60 %
Tiempo de ciclo	232 segundos	199 segundos	14.22 %
Porcentaje de productos defectuoso	5 %	3 %	40 %

Con la información anterior, se implementó el modelo y metodología propuesta en los procesos productivos y la nueva distribución de planta. Adicionalmente, se utilizó el modelo de simulación basado en el software Arena como medio previo a la implementación para identificar el impacto de la metodología propuesta para incrementar la productividad de la empresa y contribuir así al incremento finalmente de la rentabilidad, el modelo se presenta en la Fig. 5.

Así mismo se generaron otros resultados, los cuales se muestran en la Tabla número III

Tabla III. Otras variables de mejora

Variable	Previo a la implementación	Posterior a la implementación	% de mejora
Índice de eficacia del tiempo de ciclo	1.26	1.08	14 %
Rentabilidad	10.98 %	28 %	64 %
Índice de inactividad provocada por procesos ineficientes	8.33 %	4.17 %	50 %

Analizando los tiempos de ciclo en tres escenarios que consideran tres tipos diferentes de “Tees” con el objetivo de comprobar la consistencia de los resultados, se obtuvieron los siguientes valores mostrados en la Tabla IV.

Tabla IV. Resultados considerando tres escenarios

Escenario	Tiempo previo a la implementación (Tees /h)	Tiempo posterior a la implementación (Tees /h)	% de mejora
Tee GNV ¾	13.28	16.86	21.22 %
Tee GNV 5/8	16.86	18.79	10.30 %
Tee GLP 5/8	16.86	18.79	9.83 %

Es preciso señalar que los resultados de tiempo, se estableció el realizar toma de datos del proceso en cuanto a duración y tiempo de ciclo, el tamaño de la muestra se realizó mediante un muestreo estratificado que considero en plan de producción de cada tipo de “Tee” y un nivel de precisión al 95 % y error de +/- 5 %. En base a los resultados obtenidos se calculo el promedio de tiempo de cada uno de los resultados mostrados en las Tablas I a la IV, tanto para antes de la implementación del modelo como posterior a la misma.

De los resultados anteriores, puede desprenderse que la productividad se incremento en promedio 14. % como consecuencia de un menor tiempo de ciclo promedio, dato que es consistente al analizarse tres tipos de “Tees” que produce la empresa, siendo que cuanto mayor es la cantidad de procesos requeridos en la manufactura de un producto, mayor es la productividad alcanzada como consecuencia de una disminución de los tiempos muertos y de los traslados de los productos a diferentes partes del proceso, observándose que para “Tees” clasificadas como grandes, en este caso la GNV ¾ el porcentaje de mejora fue de 21.22 % mientras que “Tees” de menor tamaño el porcentaje de mejora estuvo en promedio en 10.05 %

Adicionalmente, la rentabilidad de la empresa se incremento en 64 % como consecuencia de la mejora de los procesos y de las actividades que no generan valor. La utilidad se traslado de un 10.98 % previo a la implementación de la metodología propuesta a un 28 % lo que representa un crecimiento del 64 %, esto como consecuencia de la mejora de la productividad que esta reflejada en el índice de eficacia del tiempo de ciclo el cual aumento su valor un 14 % posterior a la implementación y con la reducción de la inactividad de las maquinas la cual mejoro en 50 %.

Respecto a la distribución de planta, se redujeron las distancias utilizando una distribución por proceso, esto permitió reducir las distancias en 75 metros lo que redujo los tiempos de transporte, representando un 20 % de mejora la utilización del espacio.

## V. CONCLUSIONES.

La metodología para incrementar la productividad del proceso productivo en una mype metalmecánica de producción de Tees utilizando Lean Manufacturing, Systematic Layout

Planning y TOPSIS ha mostrado resultados favorables incrementando esta en 14 %.

La productividad general mostrada en la empresa del 14 % es consistente considerando los diferentes tipos de productos que manufactura, siendo los productos de mayores dimensiones y de procesos más complejos lo que mejoraron en mayor medida su desempeño alcanzando un 21.22 % en comparación con productos pequeños y menos complejos, los cuales alcanzaron un 10.05 % promedio de mejora.

Como consecuencia de la mejora de procesos y la disminución de los tiempos de transporte la rentabilidad de la empresa metalmecánica creció de 10.98 % a 28 %, mostrando un incremento porcentual del 64 %

La metodología propuesta deberá de mostrar mejores resultados en el tiempo, como consecuencia de la curva de aprendizaje a la que se someterán los trabajadores en la medida que realicen durante más ciclos los procesos productivos.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de investigación a través del incentivo UPC-EXPOST-2023-2

## REFERENCIAS

- [1], [5] Banco de desarrollo de América Latina (CAF). (2022.) Nota de Productividad Perú Productividad es la clave para retomar la senda de crecimiento. <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1948/Nota%20de%20Productividad%20de%20Per%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=En%20las%20C3%BAltimas%20cinco%20d%C3%A9cadas,en%20promedio%200%2C4%20p.p.>
- [2] Instituto Nacional de Estadística en Informática (INEI). 2023. Estadísticas. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas-indice-tematico/>
- [3] Ominia Solution (2023). Perspectivas prometedoras para la industria manufacturera peruana. <https://omniasolution.com/2023/04/18/perspectivas-prometedoras-para-la-industria-de-manufactura-peruana-en-el-2023/>
- [4] Instituto Nacional de Estadística en Informática (INEI). 2023. Nota de prensa. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-036-2023-inei.pdf>
- [5], [6] La cámara. (2023). Recomendaciones de la CCL para que Perú sea más competitivo y productivo. <https://lacamara.pe/recomendaciones-de-la-ccl-para-que-el-peru-sea-mas-productivo-y-competitivo/>
- [7] Perú 21. (2023). Mercado laboral: el 70 % de empresas tiene problemas para contratar personal capacitado. <https://peru21.pe/economia/mercado-laboral-el-70-de-empresas-tiene-problemas-para-contratar-personal-capacitado-noticia/>
- [8] Valenzuela, F., Estocalenko, J., Rojas, J., & Raymundo, C. (2020). Modelo Lean de calidad de servicio para mejorar el desempeño del servicio en concesionarios automotrices. En Human Interaction and Emerging Technologies: Proceedings of the 1st International Conference on Human Interaction and Emerging Technologies (IHET 2019), 22-24 de agosto de 2019, Niza, Francia (págs. 917-923 ). Publicaciones internacionales de Springer.

- [9] A. P. Lista, G. L. Tortorella, M. Bouzon, S. Mostafa y D. Romero, "Lean layout design: a case study applied to the textile industry", *Production*, vol. 31, 2021. Disponible: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210090>
- [10], [12] B. Suhardi, E. Juwita, R. D. Astuti y Y. Y. Tan, "Facility layout improvement in sewing department with Systematic Layout planning and ergonomics approach", *Cogent Engineering*, vol. 6, n.º 1, p. 1597412, enero de 2019. Disponible: <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1597412>
- [11] N. T. Putri y L. S. Dona, "Application of lean manufacturing concept for redesigning facilities layout in Indonesian home-food industry", *The TQM Journal*, vol. 31, n.º 5, pp. 815–830, octubre de 2019. Disponible: <https://doi.org/10.1108/tqm-02-2019-0033>
- [12], [15] G. B. Benitez, F. S. Fogliatto, R. B. Cardoso, F. S. Torres, C. S. Faccin y J. M. Dora, "Systematic Layout Planning of a Radiology Reporting Area to Optimize Radiologists' Performance", *Journal of Digital Imaging*, vol. 31, n.º 2, pp. 193–200, noviembre de 2017. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-0036-9>
- [13] [16] Z. D. U. Durmusoglu, "A TOPSIS-based approach for sustainable layout design: activity relation chart evaluation", *Kybernetes*, vol. 47, n.º 10, pp. 2012–2024, noviembre de 2018. Disponible: <https://doi.org/10.1108/k-02-2018-0056>
- [14], [20] I. Leksic, N. Stefanic y I. Veza, "The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction", *Advances in Production Engineering & Management*, vol. 15, n.º 1, pp. 81–92, marzo de 2020. Disponible: <https://doi.org/10.14743/apem2020.1.351>
- [17] A. Nagi y S. Altarazi, "Integration of value stream map and strategic layout planning into DMAIC approach to improve carpeting process", *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 10, n.º 1, p. 74, abril de 2017. Disponible: <https://doi.org/10.3926/jiem.2040>
- [18] Jiménez, Romero, Fernández, del Mar Espinosa y Domínguez, "Extension of the Lean 5S Methodology to 6S with An Additional Layer to Ensure Occupational Safety and Health Levels", *Sustainability*, vol. 11, n.º 14, p. 3827, julio de 2019. Disponible: <https://doi.org/10.3390/su11143827>
- [19], [20] M. Malindzakova, D. Malindzak y P. Garaj, "Implementation of the Single Minute Exchange of Dies method for reducing changeover time in a hygiene production company", *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 12, n.º 4, pp. 243–252, diciembre de 2021. Disponible: <https://doi.org/10.24867/ijiem-2021-4-291>
- [21] Sinambela, EA y Djaelani, M. (2022). Análisis y Categorización del Comportamiento de Costos. *Revista de Estudios de Ciencias Sociales (JOS3)*, 2 (1), 13-16.
- [22] A. Q. Basri, H. N. M. Z. Nik Mohamed, N. . y Y. Y., "SMED Simulation in Optimising the Operating Output of Tandem Press Line in the Automotive Industry using WITNESS Software", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 18, n.º 3, pp. 8895–8906, septiembre de 2021. Disponible: <https://doi.org/10.15282/ijame.18.3.2021.05.0682>
- [23] A. S. Patil, M. V. Pisal y C. T. Suryavanshi, "Application of value stream mapping to enhance productivity by reducing manufacturing lead time in a manufacturing company: A case study", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 19, n.º 1, pp. 11–22, marzo de 2021. Disponible: <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1488>
- [24] R. Rathi, M. Jagadeeswaran, G. Muhammad Imran, K. Vinay Kumar, K. Venkata Ramana Eswar y S. Sameerpasha, "Investigation and implementation of VSM in water distillation plant", *Materials Today: Proceedings*, mayo de 2021. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.274>
- [25] A. D. Makwana y G. S. Patange, "Strategic implementation of 5S and its effect on productivity of plastic machinery manufacturing company", *Australian Journal of Mechanical Engineering*, pp. 1–10, octubre de 2019. Disponible: <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1676112>
- [26] Khariwal, S., Kumar, P., & Bhandari, M. (2021). Layout improvement of railway workshop using systematic layout planning (SLP)—A case study. *Materials Today: Proceedings*, 44, 4065-4071.
- [27] Gozali, L., Widodo, L., Nasution, S. R., & Lim, N. (2020, April). Planning the New Factory Layout of PT Hartekprima Listrindo using Systematic Layout Planning (SLP) Method. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 847, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- [28] Bagaskara, K. B., Gozali, L., & Widodo, L. (2020, July). Redesign layout planning of raw material area and production area using systematic layout planning (SLP) methods (case study of CV oto boga jaya). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 852, No. 1, p. 012122). IOP Publishing.
- [29] Wątróbski, J., Bączkiewicz, A., Ziemia, E. y Salabun, W. (2022). Evaluación de ciudades y comunidades sostenibles mediante el método DARIA-TOPSIS. *Ciudades Sostenibles y Sociedad*, 83, 103926.
- [30] Rao, C. y Gao, Y. (2022). Diseño de mecanismo de evaluación del nivel de desarrollo de la integración urbano-rural basado en un método TOPSIS mejorado. *Matemáticas*, 10 (3), 380.
- [31] Saeidi, P., Mardani, A., Mishra, AR, Cajas, VEC, & Carvajal, MG (2022). Evaluar la gestión sostenible de los recursos humanos en las empresas manufactureras utilizando un método SWARA-TOPSIS difuso pitagórico extendido. *Diario de Producción más Limpia*, 370, 133380.
- [32] Dinçer, H., Yüksel, S., Aksoy, T. y Hacıoğlu, Ü. (2022). Aplicación de los métodos M-SWARA y TOPSIS en la evaluación de alternativas de inversión de tecnologías energéticas de microgeneración. *Sostenibilidad*, 14 (10), 6271.
- [33] Abdullah, FM, Al-Ahmari, AM y Anwar, S. (2023). Un método difuso DEMATEL integrado y TOPSIS difuso para analizar tecnologías de fabricación inteligente. *Procesos*, 11 (3), 906.