

Lean Kaizen model to reduce waste in the mixing process based on engineering methods in a precast concrete company

Juan Carlos Quiroz-Flores, PhD.¹, Héctor Araujo-Chuquiruna, Eng.¹ and Antonio André Villa-Carrasco, Eng.¹

¹Programa de Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú,

ORCID: 0000-0002-0994-9832, 0000-0003-1858-4123, 0000-0001-6768-8098

Abstract— The precast concrete industry has been increasing its participation in the Peruvian market in recent years. Therefore, the same market demands standards based on the production and productivity of the work performed in the companies. Accordingly, it is essential to reduce the waste produced in the different production processes of concrete elements. A major part of the waste produced in the different areas of a concrete company is due to the inadequate distribution of spaces, lack of ergonomic planning and lack of operator training. To solve these problems, tools such as Systematic Layout Planning and Ergonomics are used to reduce waste by 4%. After the implementation of the pilot plans, a reduction of 80% is achieved to support the effectiveness of the proposed integration model based on the pilot plans within the company and thus obtain the same results.

Keywords— Waste, Lean Kaizen, Systematic Layout Planning, Ergonomic.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.19>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Modelo Lean Kaizen para reducir mermas en el proceso de mezclado basado en métodos de ingeniería en una empresa de prefabricados de concreto

Juan Carlos Quiroz-Flores, PhD.¹, Antonio André Villa-Carrasco, Eng.¹ and Héctor Araujo-Chuquiruna, Eng.¹

¹Programa de Ingeniería de Gestión Empresarial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú,

ORCID: 0000-0001-6768-8098, 0000-0002-0994-9832, 0000-0003-1858-4123

Resumen— La industria de prefabricados de concreto ha ido teniendo mayor participación en el mercado peruano en los últimos años. Por lo cual, el mismo mercado exige estándares basados en la producción y productividad de los trabajos realizados en las empresas. De acuerdo con lo mencionado, es fundamental reducir las mermas producidas en los distintos procesos de producción de los elementos de concreto. Parte primordial de las mermas producidas en las distintas áreas de una empresa concretera se deben a la inadecuada distribución de espacios, falta de planificación en materia ergonómica y a la falta de capacitación de operarios. Para dar solución a estas fallas, se utilizan herramientas como Systematic Layout Planning y Ergonomía, las cuales disminuyen las mermas en un 4%. Luego de la implementación de los planes piloto se logra una reducción del 80% para sustentar la efectividad del modelo integrador planteado basado en los planes piloto dentro de la empresa y así obtener los mismos resultados.

Palabras claves— Mermas, Lean Kaizen, Systematic Layout Planning, Ergonomía

I. INTRODUCCIÓN

Los prefabricados de concreto hoy en día son usados con mayor frecuencia en construcciones, saneamiento y redes eléctricas. En un inicio estos prefabricados se construían en las mismas obras, a esto se le llamaba construcción in situ, tiempo después se desarrollaron empresas de prefabricados de concreto, las cuales trabajan bajo 3 modalidades, artesanal, semi artesanal (solo utilizan una máquina en su proceso de producción) y automatizado. Estas 3 modalidades constituyen 3 tipos de empresas, siendo la artesanal la que ocupa un 69.5% en el mercado peruano [1]. Las empresas que engloban este 69.5%, presentan un 27% despilfarro de materia prima e insumos en la mezcla, lo cual implica uso en mayor cantidad y proporciones de materias primas e insumos en la producción de los productos prefabricados de concreto [2][3].

En el Perú las estadísticas indican que la industria de prefabricados creció en un 6.14% entre los años (2018-2019), esto se dio debido a la creciente demanda de proyectos de construcción y saneamiento [3], [4].

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.19>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

En el caso de estudio, el problema crítico es las mermas de concreto fresco en el proceso de mezclado en la producción de cajas registro de desagüe, el cual es causado por la falta de procedimientos de trabajo, falta de planificación ergonómica y una incorrecta distribución de zona de mezclado. Para lograr la disminución de mermas por las causas identificadas, se requieren metodología y herramientas viables identificadas en la investigación de artículos. Según la investigación realizada mediante el estudio de la literatura se determinó un modelo de solución basado en la metodología Lean Kaizen y herramientas de ingeniería de métodos como ergonomía y Systematic Layout Planning. El modelo propuesto, involucra variables de entrada tales como, producción diaria, cantidad de insumos utilizados. El propósito de este modelo es reducir las mermas de mezcla fresca de concreto en las empresas de prefabricados de concreto dentro del sector construcción y saneamiento. Con el fin de dar a conocer la propuesta, el siguiente artículo se ha dividido en: Estado del Arte, Aporte, Validación y conclusiones.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Los artículos de investigación indexados, clasificados dentro del estado del arte, se tomaron en cuenta para la ejemplificación de casos de estudio del presente artículos, con el fin de reducir las mermas dentro del área de mezclado de las empresas de prefabricados de concreto. A continuación, se detallan las herramientas que se utilizaran en el modelo como propuesta.

A. Lean Kaizen

Kaizen es una filosofía que enfoca procesos productivos y personas involucradas en la operación de una industria hacia la mejora continua, la cual plantea ciclos de iniciación, intercambio e implementación [13].

En algunas investigaciones, se ha comprobado que un determinado modelo de Ingeniería de métodos puede seguir los lineamientos de la metodología Kaizen, lo cual facilita la eliminación de distintos problemas que puedan ocurrir como desechos en los procesos de producción y actividades improductivas [3], [14]. La implementación de la metodología Kaizen involucra diversas herramientas que cohesionan, a través de herramientas como Estandarización de método de

trabajo, Gestión de proveedores [12], [15], System Layout Planning y Ergonomía [11], [7]. Asimismo, investigaciones anteriores rescatan que seguir la metodología Kaizen, con ayuda de herramientas pueden solucionar problemas como personal no capacitado, movimientos y posturas repetitivas, deficiente distribución de espacios, falta de homologación de proveedores y método de trabajo no actualizado [12]–[7], [15]. Por ello, distintos tipos de empresas buscan implementar herramientas de ingeniería, tomando como base la metodología Kaizen.

B. Ergonomía

Ergonomía dentro de la investigación se desarrolla mediante la inclusión de capacitaciones y evaluaciones en planes de materia ergonómica, para lo cual se involucra la reducción de riesgos disergonómicos, según el caso de estudio, Jennifer A. Hess, et al, realizó un estudio en una empresa de la India donde desarrollo un Sistema de capacitaciones ergonómicas basados en distintos evaluaciones realizadas a los trabajadores del área de producción, con el fin de aumentar su productividad y reducir los desperdicios. Los resultados de este caso de estudio, lograron que la productividad de los trabajadores aumente en 35% y los desperdicios disminuya en un 45% [7]–[9]

C. Systematic Layout Planning

La herramienta Systematic Layout Planning permite distribuir espacios optimizando tiempos y distancias, a través de esquemas de proximidad y estudio del proceso de producción. Ayman Nagi, en su artículo, nos muestra el desarrollo de cada fase para la ejecución de la herramienta SLP, con el fin de reducir las mermas en una concretera. El uso de esta herramienta permitió obtener resultados como una reducción de las mermas del 70%, ya que se optimizaron los recorridos y tiempos de producción [10], [11].

III. PROPUESTA INNOVADORA

A. Fundamento del Modelo

En la actualidad, las empresas de prefabricados de concreto vienen innovando en sus procesos, ya que se presentan distintos avances tecnológicos para el sector construcción. Por lo que se abastecen de recursos que mejoran su ventaja competitiva frente a sus rivales nacionales e internacionales.

Bajo ese escenario, se ha realizado la búsqueda de 40 artículos de investigación que aporten a la mejora del problema. Se utilizó la base de datos Science Direct, Springer,

Esmerald Insight, IEE & Scopus y los keywords “Concrete precast”, “Waste”, “Lean”, “Manufacturing”, “Design”, “Production”, “Fresh concrete”. En tal sentido, se encontró en la literatura que la filosofía Lean Kaizen e ingeniería de métodos, cuentan con diversas herramientas que permiten mejorar la productividad de las variables en estudio, ya que cada una presenta distintos beneficios, lo que se valora de este aporte es la sinergia con la que se toman en cuenta herramientas, para la creación del modelo.

En la tabla 1, se enumeran los autores que más han contribuido a los problemas y soluciones.

TABLE I.
COMPONENTES DE PROPUESTA VS AUTORES DE CASO DE ESTUDIO DE ESTADO DE ARTE

Autores	Componentes		
	Ergonomía	Systematic Layout Planning	N° Artículos
Jennifer A. Hess, Laurel Kincl, DouglasL. weeks (2020)	X		3
Ayman Nagi, et al (2018)		X	4
Sara Baraganca, Et al (2018)	X	X	2

B. Modelo Propuesto

En la Figura 1, se muestra el modelo en este artículo el cuál consta de la integración de las herramientas Ergonomía y Systematic Layout Planning y sigue la metodología Lean Kaizen. Para el modelo propuesto se debe tener en cuenta los procesos de producción que se involucran dentro del área donde se requiera realizar la mejora. De igual forma se debe tener en cuenta que la ergonomía va permitir optimizar la productividad de los trabajadores y lograr que se tomen acción frente a posturas disergonómicas que estén perjudicando al operario, esto se complementa con capacitaciones y reordenamiento del área de trabajo, para esto último se involucra la herramienta Systematic Layout Planning, la cual va permitir un reordenamiento de la planta y la reducción de tiempo y recorrido en la producción de productos finales, esto hace que se reduzcan las mermas y desperdicios.

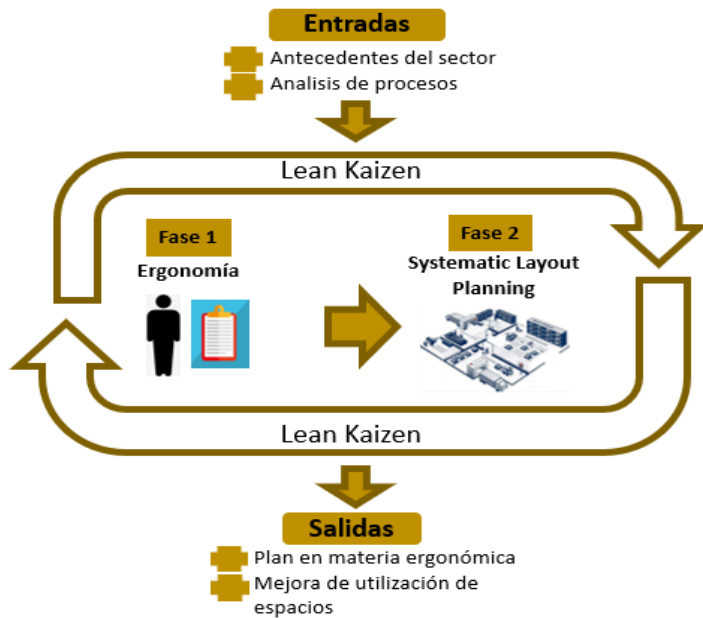


Fig. 1. Modelo Propuesto

C. Componentes del Modelo

• Fase 1: Ergonomía

La primera fase se enfoca en el factor humano de la empresa, ya que los procesos de la empresa en estudio, trabajan bajo un proceso artesanal. Para la implementación de esta componente, se inicia con la identificación del área en estudio dentro de la empresa, después se realiza la selección de tareas e identificación de las críticas, posterior a ello, se identifican los factores de riesgo ergonómico según cada tarea crítica. Utilizando el software Ergonautas se ingresan las evidencias recogidas sobre las posturas inadecuadas de los trabajadores, donde se desarrollan evaluaciones como REBA, OWAS y NIOSH. Por finalizar, la utilización de este software permite ver resultados y el riesgo que estas presentan, para lo cual la empresa debe tomar acciones para que se reduzcan las mermas y aumente la productividad de los trabajadores.

• Fase 2: Systematic Layout Planning

Esta herramienta se enfoca en el proceso de producción, ya que se define como la redistribución de espacios de una planta, para optimizar tiempos de producción y recorridos. Para fines de esta investigación el proceso de implementación de la herramienta Systematic Layout Planning inicia con el análisis del producto y la cantidad que se va producir, después se analiza los recorridos del producto mediante diagramas de Spaguetti. Luego se verifica las relaciones entre actividades, para lo cual se realiza el diagrama de relaciones de actividades, mediante el uso del Código de líneas, por

consiguiente, se analiza las necesidades y disponibilidad de espacios mediante las áreas por actividad, posterior a ellos se desarrolla el diagrama relacional de espacios que junta el de actividades con los espacios determinados y por último se evalúa y selecciona la mejor distribución.

D. Método del Modelo Propuesto

En la figura 2, se muestra el método de implementación del modelo propuesto:

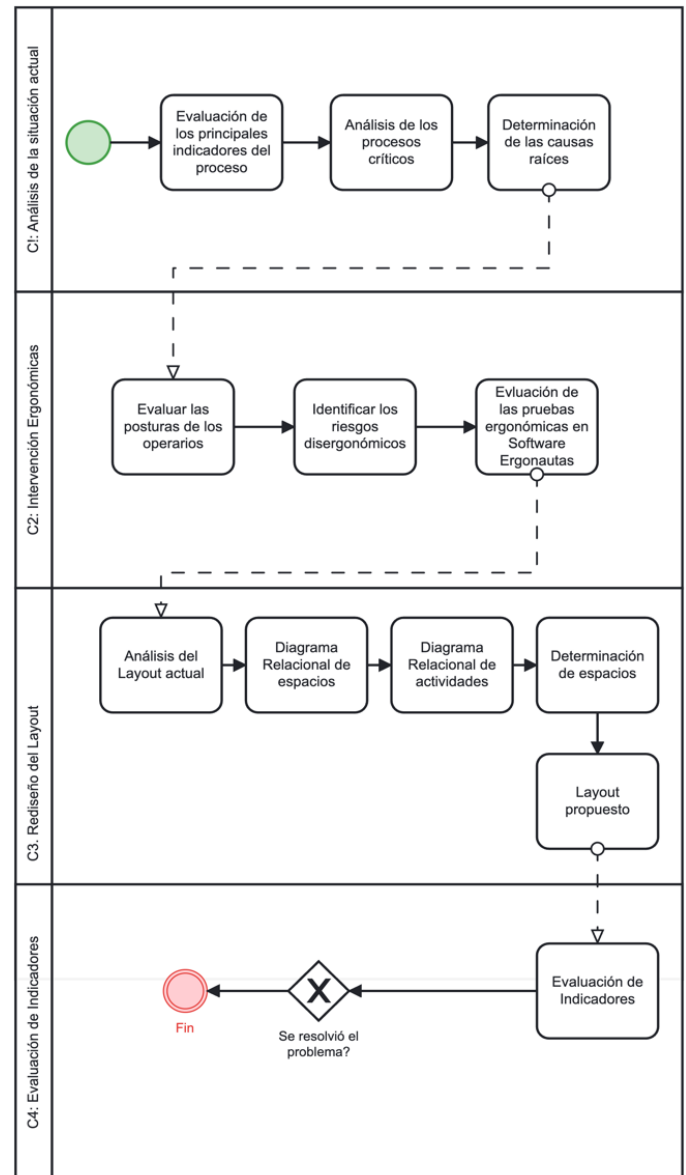


Fig. 2. Método del Modelo Propuesto

E. Indicadores del Modelo

Los indicadores son importantes, ya que permiten medir las herramientas utilizadas en la implementación y aplicación de mejoras propuestas.

- Ergonomía

Los indicadores para la herramienta Ergonomía, son movimientos y esfuerzos innecesarios y cantidad de factores de riesgo.

- Movimientos y esfuerzos innecesarios: Permite calcular los trabajos innecesarios que realizan los operarios dentro de la fábrica, con el fin de evidenciar acciones que no generan valor al proceso productivo y solo generan desgaste en la productividad del trabajador.

- Cantidad de factores de riesgo: El presente indicador permite identificar cuantos factores de riesgo esta expuesto el trabajador, para lo cual es necesario tomarlo en cuenta, ya que va a permitir obtener posturas en las cuales se van a plantear soluciones para la mejora de productividad y disminución de mermas y desperdicios.

- Systematic Layout Planning

Los indicadores para la herramienta Systematic Layout Planning, son tiempo de recorrido y distancia de recorrido.

- Tiempo recorrido: Permite saber cuánto tiempo es el proceso de producción del producto dentro de una empresa, esto va desde la obtención de insumos hasta el ingreso del producto final al almacén. El presente indicador se evalúa en minutos.

- Distancia recorrida: Permite evaluar las distancias que recorre los productos que van a ser producidos por las diversas líneas de producción, de igual forma permite saber entre que áreas se produce un mayor recorrido, para de esta manera poder buscar soluciones frente a ello. El presente se mide en metros.

IV. VALIDACIÓN

El desarrollo del plan piloto para cada una de las componentes propuestas se lleva a cabo en una pyme que produce prefabricados de concreto con la finalidad de Verificar la certinidad de las propuestas. En el caso de estudio, se cuenta con un producto patrón el cual es la caja de registro de desagüe, ya que este representa la mayor cantidad de ventas. El área de mezclado de la producción del producto patrón presenta un exceso de merma, equivalente al 10.5% de la cantidad de materia prima ingresante al proceso de mezclado y que, al compararlo con el indicador universal permitido para la industria de prefabricados, el cual es de 5%, se evidencia que el caso de estudio se encuentra con un porcentaje de merma elevado

A. Diagnóstico Inicial

En principio los resultados del caso de estudio se muestran a la brecha técnica como el porcentaje aceptado de merma dentro del área de mezclado.

En la actualidad, la pyme del caso de estudio produce una merma total del 10.5% del ingreso de materia prima e insumos al área de mezclado, obteniendo pérdidas que ascienden a los PEN 48,156 Como se mencionaba el producto patrón que genera mayor cantidad de mermas y ventas en la empresa, son las cajas registro de desagüe. Entre las principales causas de este exceso de merma: (a) Falta de planificación ergonómica, (b) Incorrecto diseño de Layout. A continuación, se presenta como la propuesta, los componentes analizados, inclinan hacia una mejora el problema de exceso de merma.

B. Diseño de la validación

Para la siguiente validación de esta investigación se realizó un plan piloto con una duración de 1 mes (todo el mes de septiembre), probado a través del método estadístico de población optima por analizar. Para lo cual, la fase 1 se piloteó la herramienta Ergonomía, en principio estudiando cada una de las posturas repetitivas dentro del proceso de mezclado, el cual comprende, desde el recojo de la materia prima y agregados y la entrega de la mezcla fresca al área de moldeado.

Esto ayudaba a definir cuál de las posturas de los operarios, genera mayor deficiencia en su productividad, lo cual haría que exista el exceso de merma, teniendo en cuenta ello, el plan en materia ergonómica que se pilotea abarca el estudio de estas posturas e indica a las cuales se debe tomar acción, haciendo que se prevenga posibles accidentes o baja productividad del operario. Las acciones que se tomen en base al plan en materia ergonómica son certeras ya que tienen un fundamento, basado en herramientas de estudio de posturas, las cuales son REBA, NIOSH, OWAS. Cabe señalar que para el estudio de estas posturas se utilizó un software especializado llamado Ergonautas. Esto hizo que los resultados y acciones que tomo la empresa reduzcan considerablemente las mermas ocasionadas por los operarios.

El impacto de pilotear la herramienta del plan en materia ergonómica se basa en los indicadores de movimientos y esfuerzos innecesarios, que registran una reducción del 100%, y cantidad de factores de riesgo, las cuales registran una reducción del 40%. Para la fase 2, se piloteó la herramienta Systematic Layout Planning (SLP), la cual se basó en la identificación de cantidades a producir de cajas registro de desagüe y en base a ello se determinó las actividades y sus proximidades según relación y continuidad de actividades, la herramienta se piloteó mediante una redistribución de las áreas, donde se detalló en cada una de las propuestas, el tiempo de recorrido y la distancia recorrido.

En la tabla 2, se evidencian los resultados de los indicadores, después de aplicar las herramientas y alcanzar el objetivo propuesto de mejora según literatura.

TABLE II.
RESULTADO GENERAL DE INDICADORES

Herramienta	Indicador	Actual	Objetivo	Resultado
Ergonomía	Movimientos y esfuerzos innecesarios	28.50%	22.80%	22.80%
	Cantidad de factores de riesgo	10	6	6
Systematic Layout Planning	Tiempo de recorrido (minutos)	32.5min	25min	22min
	Distancia de Recorrido (Metros)	317m	150m	156m

A partir de ello se concluye una mejora del 4% en la reducción de la excesiva cantidad de mermas lo cual valida nuestros planes piloto de las dos herramientas.

V. CONCLUSIONES

Con la mejora implementada se logró reducir la cantidad excesiva de mermas en un 4%, siendo una reducción significativa de 36.30%, permitiendo un mejor aprovechamiento de insumos y generando mayores utilidades a la empresa. En cuanto a la evaluación económica se evidenció un aumento del 21% de la utilidad neta en el flujo de caja del Proyecto anual. Asimismo, se incrementó la productividad de mano de obra en un 20%. En relación al impacto ambiente se Redujo el 3% de materia prima contaminante, esto en referencia a la reducción de mermas de concretos prefabricados.

La evaluación económica realizada en los tres escenarios es favorable para la empresa. En cuanto al escenario moderado se obtuvo un VAN de PEN 44,291, un TIR del 11% y un beneficio/costo de 3.01. Lo que indica la viabilidad del proyecto y la recuperación del doble de la inversión después de realizada su implementación.

Finalmente se recomienda realizar auditorías continuamente para mantener la sostenibilidad del proyecto, capacitar al personal con la finalidad de mejorar los resultados en el transcurso de los días. Esto contribuirá a seguir los conceptos de mejora continua en la organización. En cuanto a SLP, verificar los planos actuales de la empresa para no tener

problemas en la distribución de ambientes. Asimismo, para el estudio ergonómico se recomienda utilizar el Software Ergonautas con una membresía anual que me permita hacer seguimiento al operario según el desarrollo de sus tareas. Por último, se necesita cooperación de los operarios para generar una cultura organizacional disciplinada, adaptarse a los cambios, con la finalidad de mejorar la convivencia y productividad en el área de trabajo.

VI. ACKNOWLEDGMENTS

To the Research Department of the Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas for the support provided for this research work through the UPC-EXPOST-2022-2 incentive.

REFERENCIAS

- [1] P. de Concreto, "Sector construcción del Perú," 2018. [Online]. Available: <https://prefac.com.pe/aprende-a-crear-espacios-utilizando-el-concreto-2/>.
- [2] Gestión, "Consumo nacional de cemento," *gestión*, 2020. [Online]. Available: <https://gestion.pe/economia/consumo-nacional-de-cemento-continua-en-negativo-y-cae-69-en-mayo-noticia/?ref=gesr>.
- [3] Concrete Issues, "El ABC de la producción de hormigón," *Concrete Issues*, 2017. [Online]. Available: <https://www.concreteissues.com/en/stories/1-17/the-abcs-of-concrete-production/>.
- [4] INEI, "Actividad del sector construcción de Perú," p. 2019, 2019.
- [5] S. Bragança and E. Costa, "An application of the lean production tool standard work," *J. Teknol.*, vol. 76, no. 1, pp. 47–53, 2015.
- [6] C. Le Hesran, A. L. Ladier, V. Botta-Genoulaz, and V. Laforest, "A methodology for the identification of waste-minimizing scheduling problems," *J. Clean. Prod.*, vol. 246, no. xxxx, 2020.
- [7] J. A. Hess, L. Kincl, D. L. Weeks, A. Vaughan, and D. Anton, "Safety Voice for Ergonomics (SAVE): Evaluation of a masonry apprenticeship training program," *Appl. Ergon.*, vol. 86, no. March, p. 103083, 2020.
- [8] A. Kazaz, S. Ulubeyli, and A. Arslan, "Quantification of fresh ready-mix concrete waste: order and truck-mixer based planning coefficients," *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 20, no. 1, pp. 53–64, 2020.
- [9] C. Leonidas, C. Eduardo, O. Giovanni, V. Victoria, A. Marcela, and R. Carolina, "A presentation of the ergonomic analysis of risk factors in productive sectors of Chile and their relation with upper limb musculoskeletal symptomatology," *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 820, pp. 570–578, 2019.
- [10] A. Nagi and S. Altarazi, "Integration of value stream map and strategic layout planning into DMAIC approach to improve carpeting process," *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 10, no. 1, pp. 74–97, 2017.
- [11] P. Palominos, D. Pertuzé, L. Quezada, and L. Sanchez, "An Extension of the Systematic Layout Planning System Using QFD: Its Application to Service Oriented Physical Distribution," *EMJ - Eng. Manag. J.*, vol. 31, no. 4, pp. 284–302, 2019.
- [12] R. S. Mor, A. Bhardwaj, S. Singh, and A. Sachdeva, "Productivity gains through standardization-of-work in a manufacturing company," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 30, no. 6, pp. 899–919, 2019.
- [13] V. Janjić, M. Todorović, and D. Jovanović, "Key Success Factors and Benefits of Kaizen Implementation," *EMJ - Eng. Manag. J.*, vol. 32, no. 2, pp. 98–106, 2020.
- [14] C. Le Hesran, A. L. Ladier, V. Botta-Genoulaz, and V. Laforest, "A methodology for the identification of waste-minimizing scheduling problems," *J. Clean. Prod.*, vol. 246, no. xxxx, 2020.
- [15] T. da C. L. Alves, Y. Neuman, K. D. Walsh, K. L. S. Needy, and R. AlMaian, "Highly effective companies in supplier quality surveillance practices: a quantitative analysis," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 38, no. 3,

pp. 239–258, 2020.