

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



**LEAN SIX SIGMA AND TPM FOR THE
IMPROVEMENT OF EQUIPMENT
MAINTENANCE PROCESS IN A SERVICE
SECTOR COMPANY: A CASE STUDY**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Ana Laura Barriga Florez

Código 20190221

Maria Gimena Gonzales Bornas

Código 20180808

Asesor

Marcos Fernando Ruiz Ruiz

Lima – Perú

Setiembre de 2024

Propuesta Carrera Ingeniería Industrial
Título Lean Six Sigma and TPM for the Improvement of Equipment Maintenance Process in a Service Sector Company: A Case Study
Autor(es) 20190221@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima 20180808@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima mruiz@ulima.edu.pe Universidad de Lima
<p>Resumen: Actualmente, la competitividad dentro de la industria de servicios ha alcanzado niveles sobresalientes. En la búsqueda de incrementar la calidad y eficiencia de los servicios, los enfoques de mejora continua adquieren innegable relevancia. Esta investigación tuvo como objetivo implementar, analizar y evaluar los efectos de la metodología Lean Six Sigma (LSS) dentro de la industria de servicios para la optimización de procesos a través del Mantenimiento Productivo Total (TPM). El caso de estudio presentado es un taller de mantenimiento de equipos donde, a través del diseño metodológico DMAIC, se implementaron metodologías Lean Six Sigma y TPM para incrementar la eficiencia de los procesos. Los resultados muestran un aumento de eficiencia superior al 10%, reduciendo el DPMO del equipo en un 53% y disminuyendo el tiempo total del proceso en 2 horas. El valor del modelo propuesto radica en su adaptabilidad a empresas proveedoras de servicios de equipamiento tecnológico en el contexto regional, así como su aporte a estudios recientes sobre la aplicación de TPM y LSS en el sector de servicios.</p> <p>Palabras Clave: Lean Six Sigma, TPM, industria de servicios, sector terciario, mantenimiento de equipos, servicio de mantenimiento, mejora de procesos.</p> <p>Abstract: Currently, competitiveness within the service industry has reached outstanding levels. In the pursuit of increasing the quality and efficiency of services, the approaches of continuous improvement acquire undeniable relevance. This research aimed to implement, analyze, and assess the effects of Lean Six Sigma (LSS) methodology within the service industry for process optimization through Total Productive Maintenance (TPM). The presented case study is a workshop for equipment maintenance where, through the DMAIC methodological design, Lean Six Sigma and TPM methodologies were implemented to increase process efficiency. The results show an efficiency increase of over 10%, reducing equipment DPMO by 53% and decreasing the total process time by 2 hours. The value of the proposed model lies in its adaptability to companies providing technological equipment services in the regional context, as well as its contribution to recent studies on the application of TPM and LSS in the service sector.</p> <p>Keywords: Lean Six Sigma, TPM, service industry, service sector, equipment maintenance, maintenance service, improvement process.</p>
Línea de investigación IDIC – ULIMA Gestión de operaciones en servicios y desarrollo empresarial
Área y Sub-áreas de Investigación: Quality and Reliability Engineering -Quality Management and Training Operations Engineering and Management- Maintenance Management & Control
Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionado (s) al tema de investigación. Industria, innovación e infraestructura.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Perú, el aumento de los costos operativos en las organizaciones de servicios de mantenimiento y reparación representa el 21% debido a constantes retrasos en los tiempos de servicio (Pinedo-Rodriguez et al., 2022). En este contexto, la eficiencia del sector servicios en el país oscila entre el 30% y el 60% únicamente en la ciudad de Lima, siendo uno de los niveles más bajos de América Latina (Tello, 2022). Por ello, la integración de metodologías para reducir retrasos y aumentar el rendimiento y la eficiencia es fundamental para mejorar dichos rangos.

Si bien metodologías para mejoras de procesos como el Lean Six Sigma han sido implementadas en diferentes empresas a nivel mundial, los beneficios percibidos en estas implementaciones no están centrados en su totalidad en el sector de servicios (Aminudin et al., 2014). Sin embargo, en aquellos estudios centralizados en el sector terciario sobre la implementación de Lean Six Sigma (Valdivia et al., 2022), los principales factores de variación en la satisfacción del cliente y la eficiencia general del servicio fueron la estandarización de procesos y los tiempos de espera. Además, un servicio bancario logró aumentar la satisfacción del cliente al reducir la variación de los defectos del proceso e identificar actividades sin valor (Antosz et al., 2022).

La fusión de Lean Six Sigma y TPM permite una reducción significativa de costos, tiempos de inactividad y un aumento de los estándares de calidad y desempeño operativo (Kumar et al., 2006). Sin embargo, la implementación de estas herramientas en el sector servicios presenta ciertas complejidades. Por lo tanto, se sugiere seguir lineamientos para la aplicación de Lean Six Sigma, como la gestión adecuada de los factores críticos de éxito, características de calidad e indicadores de desempeño (Owee et al., 2022). A pesar de eso, surgen complicaciones al identificar dificultades en la recopilación de datos debido a la interacción no automatizada en los servicios (Legman et al., 2023).

Si bien la aplicación de Lean Six Sigma en entornos de fabricación y producción es popular en la investigación, su aplicación específica en servicios de reparación y mantenimiento no muestra el mismo progreso (Hill et al., 2018). Por lo tanto, se busca contribuir al conocimiento existente en el sector servicios, Lean Six Sigma y TPM en el Perú generando una propuesta innovadora para la aplicación de un nuevo modelo de mejora en las empresas del sector, específicamente en una empresa proveedora de equipos en Lima, Perú. De esta forma, la pregunta abarcada en la siguiente investigación es: ¿Cuál es el impacto del Lean Six Sigma y TPM en la mejora de procesos de empresa de prestación de equipos tecnológicos?

2. OBJETIVOS

Utilizar la sinergia de metodologías Lean Six Sigma y TPM para incrementar la eficiencia del proceso de una empresa proveedora de equipos de seguridad en Lima, Perú.

- Identificar las principales problemáticas del proceso de mantenimiento de equipos, medir su impacto y brindar soluciones accesibles.
- Construir un modelo de mejora de procesos adaptable a otros contextos del sector terciario y ampliar la visión de mejora de procesos en el Perú.
- Contribuir al conocimiento y a la implementación de Lean Six Sigma y TPM en el sector terciario.
- Utilizar herramientas de valor para el incremento de eficiencia de distintas fases del proceso de prestación de servicios.

3. JUSTIFICACIÓN

El aumento de la competitividad en los distintos sectores de la industria es consecuencia de la búsqueda de un mayor entendimiento del ciclo productivo y de la importancia del mantenimiento y revisión de bienes, servicios y sus componentes (Pezzotta et al., 2018). En el Perú, aquellas empresas dedicadas a brindar servicios de mantenimiento y reparación sufrieron un incremento de 21% en costos de operación ante la presencia de demoras en los tiempos de servicio (Pinedo et al., 2022). Específicamente en Lima, la eficiencia del sector se encuentra en el rango de 33% y 58%, uno de los niveles más bajos de América Latina (Tello M., 2022).

Actualmente, la implementación de sistemas de gestión de mantenimiento no ha logrado un óptimo nivel de éxito dado que sus procesos cuentan con pasos prescindibles que causan demoras en la atención de clientes. De esta forma, la implementación del mantenimiento productivo total (TPM) contribuye a una eficiente asignación de recursos y mantenimiento de condiciones de equipos. Asimismo, la integración de TPM con la metodología Lean Six Sigma permite complementar la construcción de un sistema óptimo y sostenible. En esta instancia, la integración de metodologías que permitan una reducción de demoras y aumento de rendimiento tales como TPM y Lean Six Sigma en una empresa de prestación de equipos permite construir una propuesta de taller de mantenimiento con mayor eficiencia de la actualmente presentada.

A pesar de la dificultad de la recopilación de data en un proceso de servicios, la identificación de factores críticos de éxito, características críticas de calidad e indicadores de rendimiento brindan una guía consistente para la aplicación de la herramienta y metodologías previamente mencionadas. (Hill et al., 2018). Con ello, se logra construir una investigación sobre Lean Six Sigma y TPM en un contexto nacional, conllevando a un acercamiento a la evaluación y utilización de nuevos conceptos de mejora continua para las empresas del sector de servicios en el Perú. Asimismo, se presentan perspectivas de identificación de problemáticas en el mantenimiento de equipos y herramientas de valor para el incremento de eficiencia en las distintas fases del proceso de prestación de servicios que permiten un acercamiento directo al objetivo de desarrollo sostenible industria, innovación e infraestructura.

4. HIPÓTESIS

La aplicación de las metodologías Lean Six Sigma y Total Productive Maintenance en el proceso del servicio de mantenimiento de equipos tiene un impacto significativo en la eficiencia del servicio, reduciendo el tiempo total del proceso y mejorando la operatividad de los equipos.

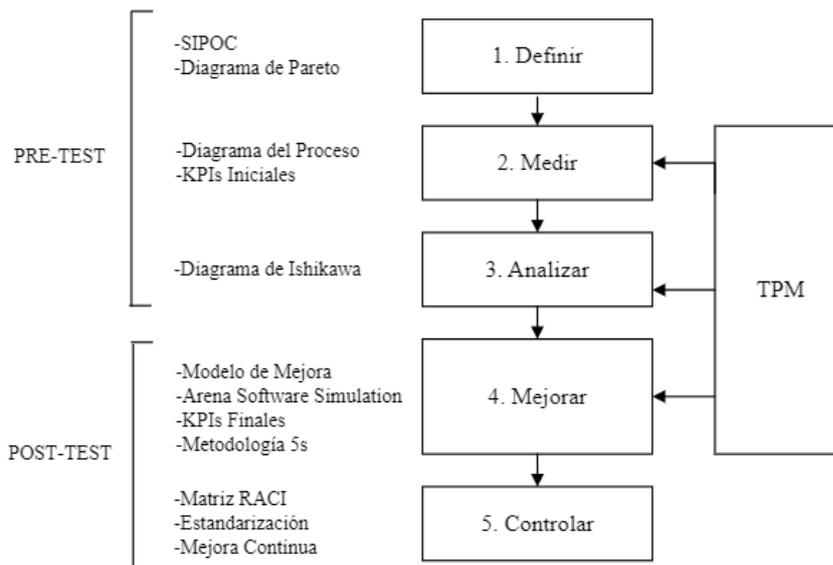
5. DISEÑO METODOLÓGICO:

Para proponer un modelo y validar una mejora en la eficiencia de los servicios de mantenimiento, la investigación consideró como alcance el estudio de caso de una empresa de Lima, Perú, dedicada a la comercialización y servicio técnico de equipos de seguridad, enfocándose en uno de sus talleres de mantenimiento. Se aplicó un pre y post test con un enfoque mixto que integra métodos cualitativos y cuantitativos, y se estableció un diseño metodológico basado en la metodología Lean Six Sigma.

El modelo desarrollado se limita a una simulación con software de las mejoras propuestas y no a la implementación de estas en la empresa.

A continuación, se presenta el flujo metodológico y las herramientas y técnicas empleadas en cada fase.

Figura 1. Flujo metodológico



Como se muestra, la metodología Lean Six Sigma mediante los pasos de mejora continua DMAMC, se integró con el Mantenimiento Productivo Total (TPM), aplicado en las fases de medición, análisis y mejora. Además, se emplearon diferentes herramientas Lean en cada etapa para un estudio de caso más detallado.

En primer lugar, en el paso Definir, es necesario comprender todo el proceso e identificar las fallas más recurrentes de los equipos que ocasionan una menor eficiencia del proceso. Manteniendo el enfoque de ambas metodologías, se utilizó un diagrama SIPOC para observar todo el proceso y comprender su funcionamiento general. También se identificaron las fallas más comunes en el equipo utilizando un diagrama de Pareto. Posteriormente, en el paso de Medición, se desarrolla una comprensión detallada del proceso de mantenimiento y se visualizan los tiempos para cada actividad. Se utilizó un Diagrama de Proceso del escenario inicial (pre-test). Además, para medir la mejora, se seleccionaron indicadores considerando los conceptos de TPM como se muestra en la Tabla 1. Estos indicadores se calcularon en base al escenario inicial.

Tabla 1. Indicadores

Indicador	Fórmula
Eficiencia del proceso	$\frac{\text{Horas trabajadas estándar}}{\text{Horas trabajadas}} \times 100\%$
Eficiencia general del equipo	$\text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$
Defectos por millón de oportunidades	$\frac{\text{Total de Defectos}}{\text{Total de Oportunidades}} \times 100\%$

Posteriormente, se desarrolló un diagrama de Ishikawa para analizar las causas raíz del objeto de estudio. Para la etapa de Mejora, se utilizaron herramientas LSS como la Metodología 5s. Con ello, se construyó el modelo de mejora para su posterior simulación utilizando el software Arena 16.0. Esto permitió obtener los resultados del modelo (post-test) sin intervenir en la empresa. Finalmente, los indicadores se calcularon nuevamente con el modelo propuesto. Para el paso de Control, se propuso una matriz RACI, estandarización y mejora continua de los procesos.

Es importante mencionar que, a lo largo del proceso de investigación, se realizaron validaciones continuas con tres expertos en el sector de servicios, Lean Six Sigma y TPM. Además, cuatro miembros asesores de la empresa corroboraron la aplicación en cada fase predeterminada.

6. NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

Agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional y a la Universidad de Lima por nuestra formación profesional.

REFERENCIAS

1. Aguilar-Schlaefli, J., Campos-Campos, Z., Leon-Chavarri, C., & Saenz-Moron, M. (2022). Model based on TPM and standardization for the maximization of efficiency in an SME in the plastics sector. LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.71>
2. Alblooshi, M., Shamsuzzaman, M., Karim, A., Haridy, S., Shamsuzzoha, A., & Badar, M. A. (2023). Development of a framework for utilising lean six Sigma's intangible impacts in creating organisational innovation climate. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(2), 397-428. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2020-0117>
3. Al-refaie, A., Lepkova, N., & Camlibel, M. E. (2022). The relationships between the pillars of TPM and TQM and manufacturing performance using structural equation modeling. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031497>
4. Alsubaie, B., & Yang, Q. (2017). Maintenance process improvement model by integrating LSS and TPM for service organizations. *Engineering Asset Management 2016. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62274-3_2
5. Aminudin, O. & Zainol, M. (2014). Implementation Of Six Sigma in Service Industry. *Journal Of Quality Measurement and Analysis*, 10 (2), 77-86. ISSN 1823-5670
6. Annamalai, S., & Suresh, D. (2019). Implementation of total productive maintenance for overall equipment effectiveness improvement in machine shop. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 7686-7691. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C6212.098319>
7. Harel, D. (1979). First-order dynamic logic. *Lecture notes in computer science*, vol. 68. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, and New York, 1979, X + 133 pp. *Journal of Symbolic Logic*, 47(2), 453-454. <https://doi.org/10.1007/3-540-09237-4>
8. Antosz, K., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Waszkowski, R., & Machado, J. (2022). Application of lean six sigma for sustainable maintenance: Case study. *IFAC*, 55(19) 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.204>
9. Bader, B. H., Badar, M. A., Rodchua, S. & McLeod, A. (2020). A study of the balancing of lean thinking and stakeholder salience in decision-making," *The TQM Journal*, Vol. 32, No. 3, pp. 441-460. <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2019-0108>
10. Burawat, P. (2019). Productivity improvement of highway engineering industry by implementation of lean six sigma, TPM, ECRS, and 5S: A case study of AAA co., ltd. *Humanities and Social Sciences Reviews*, 7(5), 83-92. <https://doi.org/10.18510/hssr.2019.7511>
11. Caiado, R., Nascimento, D., Quelhas, O., Tortorella, G., & Rangel, L. (2018). Towards sustainability through green, lean and six sigma integration at service industry: Review and framework. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(4), 1659-1678. <https://doi.org/10.3846/tede.2018.311910.3846/tede.2018.3119>
12. Chakrabarty, A. & Tan, K. (2007). The current state of six sigma application in services. *Managing Service Quality*, 17, 194-208. <https://doi.org/10.1108/09604520710735191>

13. Espinoza-Huamash, M., Arana-Hurtado, I., & León-Chavarri, C. (2022). Maintenance management model to increase availability in a metalworking SME applying TPM, SMED and PDCA. LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.70>
14. Facchinetti & Citterio. (2022). Application of the Overall Equipment Effectiveness to a Service Company. IEEE Access, vol. 10, pp. 106613-106640, 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3211266>.
15. Ganjavi, N., & Fazlollahtabar, H. (2023). Integrated sustainable production value measurement model based on lean and six sigma in industry 4.0 context. IEEE Transactions on Engineering Management, 70(6), 2320-2333. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3078169>
16. Hardt, F., Kotyrba, M., Volna, E., & Jarusek, R. (2021). Innovative approach to preventive maintenance of production equipment based on a modified tpm methodology for industry 4.0. Applied Sciences (Switzerland), 11(15) <https://doi.org/10.3390/app11156953>
17. Hensley, R. & Dobie, K. (2005). Assessing readiness for six sigma in a service setting. Managing Service Quality 15(1): 82-101. <https://doi.org/10.1108/09604520510575281>
18. Hill, J., Thomas, A. J., Mason-Jones, R. K., & El-Kateb, S. (2018). The implementation of a lean six sigma framework to enhance operational performance in an MRO facility. Production and Manufacturing Research, 6(1), 26-48. <https://doi.org/10.1080/21693277.2017.1417179>
19. Jiménez, M., Romero, L., Domínguez, M., & Espinosa, M. D. M. (2015). 5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school. Safety Science, 78, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.022>
20. Kumar, M., Antony, J., Singh, R. K., Tiwari, M. K., & Perry, D. (2006). Implementing the lean sigma framework in an indian SME: A case study. Production Planning and Control, 17(4), 407-423. <https://doi.org/10.1080/09537280500483350>
21. Legman, I., Rozalia, M. & Kardos, M. (2023). An Innovative Tool to Measure Employee Performance through Customer Satisfaction: Pilot Research Using eWOM, VR, and AR Technologies. Electronics (12) 1158. <https://doi.org/10.3390/electronics12051158>
22. Murga-Vasquez, A., Valenzuela-Garcia, J., & Castro-Rangel, P. (2021). Process improvement for the reduction of rework applying TPM and kaizen in a company in the metalworking sector. Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control, Lecture Notes in Networks and Systems LNNS, volume 274. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80462-6_41
23. Miremadi, M., & Goudarzi, K. (2019). Developing an innovative business model for hospital services in iran: A case study of moheb hospitals. Leadership in Health Services, 32(1), 129-147. <https://doi.org/10.1108/LHS-10-2017-0063>
24. Owee, T., Peidi, L., Kim L., Choon, O., Chin G. & Kadir, B. (2022) Critical success factors for Lean Six Sigma in business school: A view from the lecturers. International Journal of Evaluation Research in Education (IJERE) (11) 1, pp. 280-289. <https://doi.org/10.11591/ijere.v11i1.21813>
25. Pezzotta, G., Sassanelli, C., Pirola, F., Sala, R., Rossi, M., Fotia, S., . . . Mourtzis, D. (2018). The product service system lean design methodology (PSSLDM): Integrating product and service components along the whole PSS lifecycle. Journal of Manufacturing Technology Management, 29(8), 1270-1295. <https://doi.org/10.1108/JMTM-06-2017-0132>
26. Pinedo-Rodriguez, K., Trujillo-Carrasco, L., Cabel-Pozo, J., & Raymundo, C. (2022). Resource management model to reduce maintenance service times for SMEs in lima-peru. Networks and Systems, vol 319. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85540-6_148
27. Prasetyo, Y. T., & Veroya, F. C. (2020). An application of overall equipment effectiveness (OEE) for minimizing the bottleneck process in semiconductor industry. IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2020, 345-349. <https://doi.org/10.1109/ICIEA49774.2020.9101925>
28. Rishi, J., Srinivas, T., Ramachandra, C. & BC, A. (2018) Implementing the Lean Framework in a Small & Medium & Enterprise (SME) - A Case Study in Printing Press. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (376). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/376/1/012126>
29. Syaifoelida, F., Amin, I., & Megat Hamdan, A. M. (2020). The designing analysis process of constituent attributes by using VSM and six sigma to enhance the productivity in industry of bearings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 788(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/788/1/012021>

30. Tello, M. (2022). Índice de eficiencia técnica de las empresas de Perú. *Desarrollo y Sociedad*, (90), 111-151. Epub March 01, 2022. <https://doi.org/10.13043/dys.90.4>
31. Villavicencio-Condor, J. E., Valdivia-Castro, A. X., Collao-Diaz, M. F. & Chavez-Ugaz, R. (2022). Service Model under the Lean Service and Machine Learning Approach to Increase External User Satisfaction: A case study in the health sector SMEs in Peru. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3568834.3568851>
32. Xu, M., Gao, X., Zhang, F. (2019). An Approach of Implementing SW-TPM in Real-Time Operating System. *Communications in Computer and Information Science*, vol 960. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5913-2_7

ANEXOS.

Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Lean Six Sigma and TPM for the improvement of equipment maintenance process in a service sector company: a case study
- **Autores:** Ana Laura Barriga Florez, Maria Gimena Gonzales Bornas
- **Co autor(es):** Marcos Fernando Ruiz Ruiz

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** The 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management IEIM 2024
- **Organizador:** Science and Engineering Institute
- **Sede:** Nice, France
- **Año:** 2024
- **Pp:** 155-169
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):**
Enlace Web: [Lean Six Sigma and TPM for the Improvement of Equipment Maintenance Process in a Service Sector Company: A Case Study | SpringerLink \(ulima.edu.pe\)](#)
ISSN: 18650929
ISBN: 978-303156372-0
DOI: 10.1007/978-3-031-56373-7_13

Gonzales&Barriga

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.springerprofessional.de

Fuente de Internet

4%

2

link.springer.com

Fuente de Internet

2%

3

www.tandfonline.com

Fuente de Internet

1%

4

core.ac.uk

Fuente de Internet

1%

5

ieomsociety.org

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo