

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



INCREASED MACHINE EFFICIENCY THROUGH A PRODUCTION MODEL INTEGRATING LEAN TOOLS AND THE ADKAR MODEL IN AN SME OF THE METALWORKING INDUSTRY

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Bryan Felix Cancho Alvaro

Código 20182391

Jordan Enrique Rodriguez Arcos

Código 20183172

Asesor

Juan Carlos Quiroz-Flores

Lima – Perú

Marzo de 2024

Título

INCREASED MACHINE EFFICIENCY THROUGH A PRODUCTION MODEL INTEGRATING LEAN TOOLS AND THE ADKAR MODEL IN AN SME OF THE METALWORKING INDUSTRY

Autor(es)

Bryan Felix Cancho Alvaro

20182391@aloe.ulima.edu.pe

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Jordan Enrique Rodriguez Arcos

20183172@aloe.ulima.edu.pe

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Juan Carlos Quiroz Flores

jcquiroz@ulima.edu.pe

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Resumen: La industria metalmecánica de cada país tiene mucho desarrollo económico, lo que proporciona a las empresas puestos de trabajo y nuevos productos. Sin embargo, las empresas tienen diferentes problemas a la hora de mejorar diversos aspectos como la producción, la calidad y los tiempos de entrega, entre otros. Por tanto, para solucionar estos problemas, este artículo propone un modelo basado en la implementación de la filosofía Lean utilizando diferentes herramientas como 5S, TPM, SLP y SMED para aumentar la eficiencia general del equipo (OEE). Además, se trabajó en la mentalidad de los trabajadores para sensibilizarlos a través del Modelo ADKAR. Se realizó una prueba piloto para validar las mejoras, lo que nos arrojó buenos resultados en la calificación de las auditorías realizadas. Además, se realizó una simulación en la que se implementó el software Arena, y el resultado fue una mejora en el índice OEE del 17,60%, una reducción de 44,59 metros en los movimientos de los operadores y una mejora en la reducción del esfuerzo de los operadores en un 88,5%. El aporte de este estudio puede orientar a los responsables de las operaciones de las Pymes de la industria metalmecánica de que las herramientas de la filosofía Lean Manufacturing implementadas junto con el modelo de gestión del cambio ADKAR, son necesarias para transformar los procesos ya que se complementan, logrando una reducción en el desperdicio operativo a través de la mejora de la mentalidad de los empleados aumentando su compromiso con la mejora continua.

Palabras Clave: Lean Manufacturing, metalmecánica, modelo ADKAR, 5S, SMED, SLP, TPM.

Abstract: Each country's metalworking industry has much economic development, providing companies with jobs and new products. However, companies have different problems in improving various aspects such as production, quality, and delivery times, among others. Therefore, to solve these problems, this article proposes a model based on implementing the Lean philosophy using different tools such as 5S, TPM, SLP, and SMED to increase the overall equipment efficiency (OEE). In addition, work was done on the mindset of workers to sensitize them through the ADKAR Model. A pilot test was carried out to validate the improvements, which gave us good results in the qualification of the audits carried out. In addition, a simulation was carried out in which the Arena software was implemented, and the result was an improvement in the OEE index of 17.60%, a reduction of 44.59 meters in operator movements, and an improvement in reducing operator effort by 88.5%. The contribution of this study can guide those responsible for the operations of SMEs in the metalworking industry that the tools of the Lean Manufacturing philosophy implemented together with the ADKAR change management model, are necessary to transform the processes as they complement each other, achieving a reduction in operational waste through the improvement of the mindset of employees by increasing their commitment to continuous improvement.

Keywords: Lean Manufacturing, metalworking, ADKAR model, 5S, SMED, SLP, TPM.

Línea de investigación IDIC – ULIMA: Operations Engineering & Management.

Área y Sub-áreas de Investigación: Planeamiento y gestión de operaciones.

Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS): (9) Industria, innovación e infraestructura industrial.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El caso de estudio viene gastando un promedio 979, 157.13 soles por año debido a la baja disponibilidad y bajo rendimiento de los equipos. Durante el año 2021 la empresa tuvo un OEE de 66.32% en promedio. Un 18.68% debajo del estandar en la eficiencia general de los equipos respecto al estandar mundial.(Pinto et.al, 2020).

Este bajo indice es debido a seis principales causas, paradas preventivas, tiempo Set up, productos fallados, tiempos de reparacion correctivos, intercambio de piezas, identificación y traslado de materia prima.

OBJETIVOS

El objetivo principal es incrementar la eficiencia general de los equipos, por tal motivo se planteó aumentar el rendimiento y la disponibilidad de los equipos. Se planteó disminuir el tiempo de cambio de piezas para reducir el tiempo de inactividad de los equipos y así aumentar el rendimiento de producción con ayuda de la herramienta SMED (Ramazan & Aycan, 2022). Para reducir operaciones que no agregan valor para encontrar fallas en la línea de producción se implementará la herramienta 5S (Ribeiro et al., 2019; Shahriar et al., 2022). Para incrementar la disponibilidad de las máquinas y optimizar la fiabilidad, costos y seguridad, se implementará la herramienta TPM (Martins et al., 2021). Para reducir el esfuerzo y distancia de los operarios se implementara la herramienta SLP (Suhardini *et al.*, 2019).

JUSTIFICACIÓN

El sector metalmecánico está estrechamente relacionado con diferentes industrias, suministrando bienes finales e intermedios. El sector de la industria metalmecánica es vital para la economía porque es una actividad industrial que ofrece muchos puestos de trabajo y productos (IEES, 2018). En Perú, el sector representa el 1,7% del PIB (IEES-SNI, 2020). Por otro lado, la PEA ocupada del sector metalmecánico representa el 3,0% del Perú y el 24,9% del sector manufacturero (Producción, 2020). Sumado a lo anterior, se ha registrado un crecimiento del 6,1%, según el Ministro de la Producción, debido al aumento de las obras de construcción en las diferentes áreas (Gestión, 2018). Las PYMES del sector deberían aprovechar este crecimiento, pero esto sólo es posible si muestran valores elevados en la eficiencia global de sus equipos (OEE).

Según la literatura, el problema identificado se debe a tres indicadores. El primero es la Disponibilidad, que ocupa el tiempo de funcionamiento de la máquina. El segundo indicador es el rendimiento, que calcula el tiempo teórico desde que se fabrican los productos hasta el tiempo de funcionamiento. Finalmente, el indicador de calidad calcula el número de piezas sin defectos respecto a la cantidad procesada (Dewi, Alhilman, & Atmaji, 2020). En este contexto, es necesario que las empresas del sector metalmecánico sean más eficientes y así aumentar el índice OEE para cumplir con los estándares. Debido a esto, se eligió un caso de estudio en el que se reflejan los problemas, en el cual buscamos mejorar el OEE. Para esto, se desarrolló un modelo de mejora con la ayuda de herramientas con la filosofía Lean, entre ellas 5S, SMED (Sigle Minute Exchange of Die), TPM (Total Productive Maintenance) y el SLP (Systematic Layout Planning). Además, al integrar el modelo ADKAR como un cambio importante en la concientización de los empleados, se lograrán mejoras de manera más efectiva y rápida.

HIPÓTESIS

La aplicación de un modelo de operaciones basado en el Lean Manufacturing y modelo ADKAR para incrementar la eficiencia general de los equipos en una PYME del sector metal mecánico.

DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo: Aplicada

La presente investigación fue de tipo aplicada, debido a que está orientada a lograr mejorar la eficiencia general de los equipos mediante la implementación de un modelo de producción basado en herramientas Lean y el modelo ADKAR.

Enfoque: Cuantitativo

El enfoque es cuantitativo debido a que se busca evaluar, comparar e interpretar los datos obtenidos en su fase de pre-test (diagnóstico) y posterior a la implementación (validación), analizar el comportamiento del mismo grupo (proceso) en la etapa post-test.

Alcance: Causal

El alcance es causal porque el objetivo es conocer el efecto que producen la implementación de las herramientas Lean y el modelo ADKAR en el OEE de la empresa en estudio.

Técnicas e instrumentos:

- TAKT TIME
- Árbol de problemas
- VSM
- Tarjetas rojas informativas
- Tableros 5S de seguimiento visual
- Auditoria 5S
- Diagrama de recorrido
- Diagrama de flujo

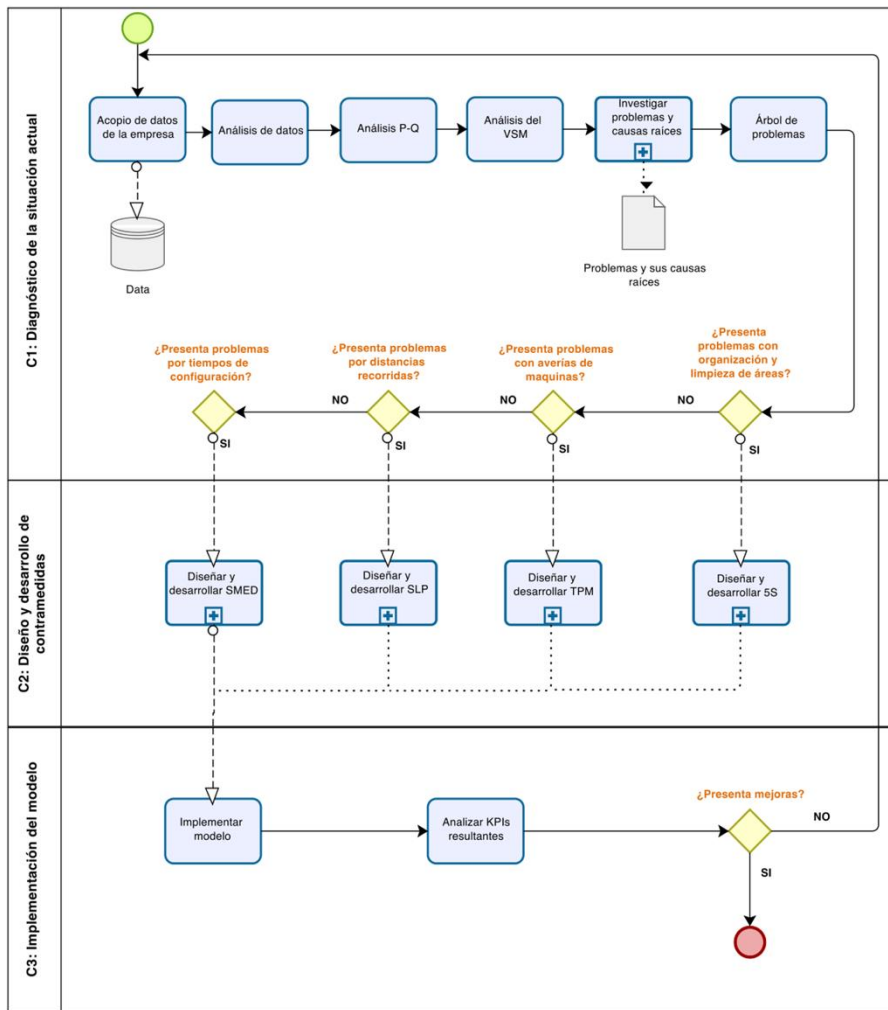
Etapas del desarrollo de la investigación:

En la figura 1.1, se muestra el desarrollo de nuestra investigación. Empieza con la recolección de datos de la empresa mediante una entrevista con el jefe de producción y con los supervisores de producción. Con esto, se analizan los datos mediante Pareto, un diagrama P-Q y VSM. Conociendo los problemas y causas raíz se logra armar un árbol de problemas para poder identificar qué herramienta Lean usar para cumplir con los objetivos, mitigar los problemas y corroborar la hipótesis. Implementar un cambio de cultura a través del modelo ADKAR, para luego poder utilizar las herramientas de ingeniería que apuntan a solucionar los problemas en la situación actual de la empresa. Se clasifica y elimina las herramientas innecesarias en el lugar de trabajo con las 5S. Se utiliza la herramienta SMED para la reducción de Set-up. Con TPM se inicia con la toma de datos de las máquinas y la evaluación de los programas de mantenimiento existentes para elaborar un nuevo plan de mantenimiento y un plan de gestión para el seguimiento. Con SLP se realizó una nueva distribución en planta para reducir el esfuerzo y distancia.

Se analiza la propuesta de mejora en base a los datos obtenidos y se modela para observar el comportamiento de la empresa luego de la implementación de las herramientas de ingeniería. Los resultados serán verificados a través de pruebas piloto, simulaciones y análisis de indicadores seleccionados que miden el desempeño de la empresa.

Figura 1.1

Flujograma del método



NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

Agrademos en primer lugar a Dios por darnos salud y el conocimiento para poder lograr este objetivo. Además, agradecemos a nuestros padres por su apoyo inquebrantable y sacrificios que han sido fundamentales para nuestro éxito académico. También expresamos gratitud a nuestros respetados profesores, cuya guía y conocimientos fueron fundamentales para la conclusión de esta tesis. La influencia duradera de ellos deja una marca indeleble en nuestro crecimiento profesional, académico y personal.

REFERENCIAS

- Ahmad, R., & Soberi, M. (2017). Changeover process improvement based on modified SMED method and other process improvement tools application: an improvement project of 5-axis CNC machine operation in advanced composite manufacturing industry . *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-18.
- Arrascue, H., Cabrera, B., Chavez, S., & Raymundo, I. P. (2020). LEAN maintenance model based on change management allowing the reduction of delays in the production line of textile SMEs in Peru. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-9.

- Apaza, N. (2021). Implementation of the TPM-Lean Manufacturing Methodology to Improve the Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Spare Parts Production at a Metalworking Company. *Revista Industrial Data*, 63-75.
- Arbieto, M., & Vásquez, J. (2020). Lean Manufacturing tools applied to the. *CONITI 2020-conference proceedings* , 1-5.
- Armes, V., Vázquez, W., Macassi, I., & Raymundo, C. (2019). Modelo de Gestión de mantenimiento basado en Lean Manufacturing para incrementar la productividad de una empresa del sector de Plástico. *Proceeding of the LACCEI international multiconference for engineering Education and Technology*, 1-10.
- Amey A. Talekar, S. Y. (20 December 2019). Setup Time Reduction using Single Minute Exchange of Dies (SMED) at a Forging Line. *AIP Conference Proceedings* , 020018-1-6.
- Babin, P., & Ghorashy, A. (2019). Leveraging Organizational Change Management to Strengthen Benefit Delivery in Innovation. *2019 IEEE Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON)*, 1-8.
- BIBLIOGRAPHY Bintang Bagaskara, K. G. (2020). Redesign Layout Planning Of Raw Material Area and Production Area Using Systematic Layout Planning (SLP) Methods (Case Study of CV Oto Boga Jaya). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- BIBLIOGRAPHY Nofri Eka, C., Anita, S., Herisiswanto, & Wahyu, S. (2017). Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Sheeter Machine. *MATEC Web of Conferences*, 1-11.
- Dewi, S., Alhilman, J., & Atmaji, F. (2020). Evaluation of Effectiveness and Cost of Machine Losses using Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Overall Equipment Cost Loss (OECL) Methods, a case study on Toshiba CNC Machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-8.
- Dilsad Guzel, A. S. (2020). Improvement Setup Time By Using SMED and 5S (An Application In SME). *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 9, ISSUE 01*, 3727-3732.
- Exterior-CCL, I. d. (2019). *METALMECÁNICA ES CLAVE PARA EL DESARROLLO*. Lima: La Cámara.
- Fernandes, Oliveira, J., & Sá, J. (2017). Continuous improvement through "Lean Tools": An application in a mechanical company. *Manufacturing Engineering Society International Conference*.
- García, C., Marroquín, C., Macassi, A., & Alvarez, C. (2021). Application of Working Method And Ergonomic To Optimize The Packaging Process In An Asparagus Industry. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 14-23.
- Gestión. (03 de 07 de 2018). *gestión.pe*. Obtenido de Gestión: <https://gestion.pe/economia/mercados/sector-metalmecanico-registro-crecimiento-6-1-primer-cuatrimestre-2018-237415-noticia/>
- Gonzales, P., Cruz, S., Chavez, P., Dominguez, F., & Raymundo, C. (2020). Waste Elimination Model Based on Lean Manufacturing and Lean Maintenance to Increase Efficiency in the Manufacturing Industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1-6.
- IEES-SNI. (2020). Industria Metalmecánica. *INEI*, 1-4.
- IEES. (2018). *Reporte sectorial*. Lima: SNI.

- Irma Carranza-Inga, E. A.-P. (2021). Improvement Model Based on Four Lean Manufacturing Techniques to Increase Productivity in a Metalworking Company. *IEIM*, 95-99.
- Jinghua, L., Hui, G., Shichao, Z., Xiaoyuan, W., & Liuling, S. (2019). Optimum desing of ship cabin equipment layout based on SLP method and Genetic Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering* , 1-17.
- José Antonio Lozada-Cepeda, A. L.-C. (2020). Maintenance Plan Based on TPM for Turbine Recovery Machinery. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-12.
- Karambelkar, M., & Bhattacharya, S. (2017). Onboarding is a change: Applying change management model ADKAR to onboarding. *Human Resource Management International Digest*.
- Khariwal, Shubham, Pradeep, K., & Manish, B. (2021). Layout improvement of railway workshop using systematic layout planning (SLP) - A case study. *Materials Today: Proceedings*.
- Lozada, J., & Lara, R. B. (2020). Maintenance Plan Based on TPM for Turbine Recovery Machinery. *Journal of Physics: Conference Series*, 76-92.
- M. Malindzakova, D. M. (2021). 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*, 244-252.
- Martins, L., Silva, F., Pimentel, C., Casais, R., & Campilho, R. (2021). Improving preventive maintenance management in an energy solutions company. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*.
- Martins, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F., & Matías, J. (2018). A practical study of the application of the SMED to electron-meam machining in automotive industry. *International Conference on Flexible Automation and Intelligente MANufacturing*.
- Morales, J., & Rodriguez, R. (2017). Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. *MATEC web of conference*, 1-14.
- Neves, P., Silva, F., Ferreira, L., Pereira, T., Gouveia, A., & Pimentel, C. (2018). Implementating Lean Tools in the Manufacturing Process of Trimmings Products. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*.
- Pattaro, R., Henrique, R., Bento, I., Hassui, A., & Barbosa, G. (2022). A novel framework for single-minute exchange of die (SMED) assisted by lean tools. *The international journal of Advanced mufacturing Technology*, 1-19.
- Paula, L. A., Luz, T. G., Marina, B., Sherif, M., & David, R. (2021). Lean Layout design: a case study applied to the textile industry. *Producao*.
- Pinto, G., Silva, F., Baptista, A., Fernandes, N., Casais, R., & Carvalho, C. (2020). *ScienceDirect*, 1423-1430
- Pinto, G., Silva, F., Baptista, A., Fernández, N., Casais, R., & Carvalho, C. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan - a case study. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*.
- Pinto, G., Silva, F., Campilho, R., Casais, R., Fernandes, A., & Baptista, A. (2019). Continous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean Tools. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*.

- Pinto, G., Silva, F., Fernandes, N., Casais, R., Baptista, A., & Carvalho, C. (2021). Implementating a maintenance strategic plan using TPM. *International Journal of Industrial Engineering and management*.
- Pombal, T., Ferreira, L. P., C., S. J., Pereira, M. T., & G., S. F. (2019). Implementation of Lean Methodologies in the management of consumable materials in the maintenance workshops of an industrial company. *International Conference on Flexible Automatization and intelligent manufacturing*.
- Prasad, A., & Kumar, S. (2017). MANUFACTURING LEAD TIME REDUCTION IN A SCAFFOLD MAKING INDUSTRY USING LEAN MANUFACTURING TECHNIQUES – A CASE STUDY. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 137-148.
- Producción, M. d. (2020). *Boletín de la producción manufacturera*. Lima: SNI.
- Rajat S Sen, G. ., (2019). Enhancement of Overall Equipment Effectiveness through Implementation of Total Productive Maintenance. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 475-484.
- Ramazan, S., & Aycan, K. (2022). A case study on reducing setup time using SMED on a turning line. *Journal Of Science*.
- Reis, M. D., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F., & Matias, J. (2019). A TPM strategy implementation in an automotive production line through loss reduction. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*.
- Ribeiro, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, G., & Matias, O. (2019). Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of an automotive production line. *Procedia Manufacturing*, 1-8.
- Ribeiro, P., Sá, J., Ferreira, L., Silva, F., Pereira, M., & Santos, G. (2019). The impact of the application of Lean Tools for improvement of process in a plastic company: a case study. *International Conference on Flexible and Intelligent Manufacturing*.
- Rosa, Silva, Ferreira, F., & Campilho, L. (2017). SMED methodology: The reduction of setup times for steel Wire-Rope assembly lines in the automovite industry. *Manufacturing Engineering Society International Conference*.
- Ruiz, G., & Munive, D. (2022). Maintenance model to increase the availability of CNC machines, through Lean and TPM tools, in SMEs of the sector. *IEEE*, 1-6.
- S. NALLUSAMY, V. K. (2018). IMPLEMENTATION OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE TO ENHANCE THE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS IN MEDIUM SCALE INDUSTRIES . *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* , 1027-1038.
- S.NALLUSAMY, G. M. (2017). Enhancement of Overall Equipment Effectiveness using Total Productive Maintenance in a Manufacturing Industry. *International Journal of Performability Engineering*, 173-188.
- Seminario, C., & Soto, A. (2022). Modelo de Producción basado en Total Productivo Mantenimiento y Planificación Sistemática de Layout para Incrementar la Productividad en la Industria Metalmeccánica. *ICITM*, 1-5.
- Shahriar, M., Parvez, M., Islam, M., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*.

- Sousa, E., Silva, F., Ferreira, L., Pereira, M., Gouveia, R., & Silva, R. (2018). Applying SMED methodology in cork stoppers production. *International Conference on FLEXible Automation and Intelligent Manufacturing*.
- Sousa, E., Silva, F., Ferreira, L., Pereira, M., Gouveia, R., & Silva, R. (2018). Applying SMED methodology in cork stoppers production. *Procedia Manufacturing*, 611-622.
- Suhardini, D., Septiani, W., & Fauziah, S. (2019). Design and simulation plant layout using systematic layout planning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Suryaprakash, M., Prabha, M. G., Yuvaraja, M., & Revanth, R. V. (2021). Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using TPM. *Materials Today: Proceedings*.
- T. Vieira, J. C. (2019). Optimization of the cold profiling process through SMED. *International Conference on FLEXible Automation and Intelligent Manufacturing*.
- Veiga, A. D. (2018). An approach to information security culture change combining ADKAR and the ISCA questionnaire to aid transition to the desired culture. *Information and Computer Security*, 1-32.
- Vieiraa, T., C, J., Lopesa, M. P., Santosc, G., Félix, M. J., Ferreiraa, L. P., . . . Pereiraa, M. T. (2019). Optimization of the cold profiling process through SMED. *Procedia Manufacturing*, 892-899.

ANEXO. Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Increased machine efficiency through a production model integrating Lean tools and the ADKAR model in an SME of the metalworking industry
- **Autores:** Bryan Felix Cancho Alvaro, Jordan Enrique Rodriguez Arcos
- **Co autor(es):** Juan Carlos Quiroz Flores

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** 21st LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development”
- **Organizador:** LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology
- **Sede:** Buenos Aires - ARGENTINA
- **Año:** 2023
- **Pp:** 8
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.121>

Paper_Cancho-Rodriguez

INFORME DE ORIGINALIDAD



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

3%

★ Submitted to University of Glasgow

Trabajo del estudiante

Excluir citas	Apagado	Exclude assignment template	Activo
Excluir bibliografía	Activo	Excluir coincidencias	< 15 words