




Improvement of Productivity in a Timber Company through Standardization and SMED Tools with a Lean Approach

Fredy Diego Palomino-Galarza, B.Eng¹, Lawrence Verde-Frech, B.Eng², Marcos Fernando Ruiz-Ruiz, Ph.D.³
^{1,2,3}Universidad de Lima, Perú, 20191491@aloe.ulima.edu.pe, 20192326@aloe.ulima.edu.pe, Mruiz@ulima.edu.pe

Abstract— *This proposal aims to address the low productivity of a Peruvian timber SME through standardization and SMED tools, focusing on the Lean philosophy. The methodology unfolds in stages of diagnosis, improvement development with simulation and validation, and continuous improvement. It was identified that the processes and work methodologies at the cutting stations were inefficient and disorganized, resulting in significantly high time indicators negatively impacting production. As part of the development stage, SMED and standardization methodologies were applied, both generated through simulation in Arena 16.1 software. Following the simulation, the results demonstrated that the implementation of SMED and standardization would increase production by up to 28.84%, reduce downtime by 40%, and enhance resource utilization, thereby generating economic benefits for the company. This study aimed to advance the understanding of timber production and serve as a guide for other companies seeking to optimize processes and reduce costs through Lean Manufacturing principles. Its low-cost, high-impact approach could be replicable and beneficial to other companies in the sector.*

Keywords— *productivity, standardization, SMED, lean manufacturing, downtime.*

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

Mejora de la productividad en una empresa maderera a través de herramientas de estandarización y Smed con enfoque Lean.

Fredy Diego Palomino-Galarza, B.Eng¹, Lawrence Verde-Frech, B.Eng², Marcos Fernando Ruiz-Ruiz, Ph.D.³
^{1,2,3}Universidad de Lima, Perú, 20191491@aloe.ulima.edu.pe, 20192326@aloe.ulima.edu.pe, Mruiz@ulima.edu.pe

Resumen— Esta propuesta pretende resolver la baja productividad de una PYME maderera peruana a través de herramientas de estandarización y SMED, enfocadas en la filosofía Lean. La metodología se desarrolla en las etapas de diagnóstico, desarrollo de la mejora con simulación y validación y mejora continua. Se identificó que, los procesos y metodologías de trabajo en las estaciones de corte eran ineficientes y desorganizadas, generando que los indicadores de tiempos sean negativamente altos y esto afectaba a la producción. Como parte de la etapa de desarrollo, se aplicaron las metodologías SMED y estandarización, ambas siendo generadas a través de simulación en el software Arena 16.1. Tras la simulación, los resultados mostraron que la implementación de SMED y estandarización aumentarían la producción hasta en un 28.84%, además de reducir los tiempos muertos en 40% y aumentar el factor de uso de los recursos; generando un beneficio económico para la empresa. Este estudio buscó avanzar en el conocimiento de la producción maderera y servir de guía para otras empresas que deseen optimizar procesos y reducir costos a través de las orientaciones Lean Manufacturing. Su enfoque de bajo costo, pero alto impacto podría ser replicable y beneficiar a otras compañías del sector.

Palabras clave— productividad, estandarización, SMED, lean manufacturing, tiempos muertos

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto peruano, el sector maderero desempeña un papel crucial en la economía, empleando a más de 200,000 personas y generando un valor anual de más de PEN 2,000 millones. Sin embargo, las PYMES, que constituyen aproximadamente el 80% de las empresas de aserrío y acepilladura de madera [1] enfrentan desafíos significativos relacionados con la falta de planificación, control de producción, gestión de calidad y capacitación del personal [2].

Estudios de mejora del proceso de producción de empresas madereras identificaron entre sus principales problemas la falta de planificación y la inexistencia de un manejo estadístico de los sistemas de producción, la falta de orden en los procesos y la falta de limpieza en el espacio de trabajo [3]. Un análisis de factores críticos de éxito señala la obsolescencia y la falta de

gestión del trabajo como factores que afectan la productividad y competitividad en el sector maderero peruano [4].

Ante este panorama, es claro entender las principales problemáticas arraigadas en la PYME correspondiente como objeto de investigación. Dentro de la cual se identificaron problemáticas en el desempeño productivo, enfocados en sus tiempos muertos, el aprovechamiento de recursos y con ello sus índices de producción. Estos KPI's son resueltos a través de la implementación de estrategias Lean buscando mejorar la productividad, reducir costos y reducir los tiempos improductivos, planteando la pregunta de investigación: ¿Cómo puede la implementación de herramientas de ingeniería con enfoque Lean Manufacturing mejorar el índice de productividad en una PYME maderera a través de la estandarización y reducir el desperdicio en tiempos operativos?

La técnica SMED es un punto importante en la investigación, siendo esta una forma de mejorar los tiempos de preparación de máquinas. Dado que la empresa maderera requiere constantemente de cambios de sierras, la preparación de máquinas o set up time requiere ser un punto de enfoque en la mejora productiva. Los investigadores resaltan a SMED como la mejor solución cuando se requiere reducir los tiempos de preparación [5]. Sin embargo, se destaca que, para la correcta implementación de esta técnica, es de vital importancia una exhaustiva capacitación para lograr una reducción de tiempos de preparación que se espera [6].

Por otro lado, la técnica de estandarización es una técnica que las investigaciones sugieren como una de las más eficaces, posicionándose como una herramienta poderosa dentro del enfoque Lean. La falta de estandarización en los procesos de producción se manifiesta en un aumento del tiempo de fabricación y la presencia constante de retrabajos debido a fallas en los productos en proceso [7]. Los expertos mencionan que, mediante una correcta aplicación de la estandarización, las empresas pueden reducir costos significativamente.

Como resaltan varias investigaciones, Lean no es un proceso complicado técnicamente, sin embargo, al ser una revolución a nivel organizativo si conlleva a dificultades de adaptación e implementación bastante grandes que varias empresas no están dispuestas a aceptar [8] Estos desafíos pueden superarse mediante la comunicación efectiva de los beneficios, la

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

capacitación adecuada, el análisis exhaustivo de los procesos, el liderazgo comprometido, y el establecimiento de indicadores clave de desempeño y seguimiento regular [9].

II. DIAGNÓSTICO

La investigación se centra en una empresa maderera, denominada "El Aserradero", especializada en el procesamiento de diversas especies de madera para la producción de tablas de construcción. Estas tablas se dividen en tres categorías: las destinadas a la construcción sin acabado, las lijadas y barnizadas para usos decorativos, y las machihembradas diseñadas para estructuras internas como paredes y techos.

El Aserradero persiguió la preservación de altos estándares de productividad con el fin de mantener competitividad en el sector y maximizar las utilidades. Este propósito requirió una evaluación exhaustiva del estado actual de la empresa, empleando indicadores de productividad laboral, tiempo de preparación de máquinas y factor uso que orientaron el proyecto de manera cuantitativa. Los Key Performance Indicators (KPI's), fueron utilizados como herramientas para evaluar el estado actual de la empresa y facilitar su comparación con otras entidades dentro del sector. Estos KPI's fueron específicamente dirigidos para diseñar y validar una propuesta de solución destinada a mejorar los índices de producción de listones a través de la implementación de herramientas Lean Manufacturing.

Se calculó la productividad dividiendo la producción total o volumen de salida por el tiempo total de producción, con ello se evaluó un promedio de entre 250 a 275 pies cúbicos/hora. Uno de los problemas más recurrentes en las PYMES del sector maderero es la baja productividad, siendo un bajo valor promedio de entre 220 a 250 pies cúbicos/h. [8]. Esto comparado con el estándar del sector, estaría por debajo de la productividad recomendada que es de 350 pies cúbicos/h, es decir un 20% menos [10].

En cuanto al tiempo de preparación de máquinas, el Aserradero en colaboración con sus especialistas declaró tener intervalos entre 9 – 10 minutos en promedio, considerando la máquina principal que es la tableadora. Como estándar, consideran que el tiempo adecuado en las empresas con esas mismas características rodea los 5 – 7 minutos [11]. Según los estándares del sector, el *set up time* de una preparación de maquinaria puede variar dependiendo de factores como la capacitación y las herramientas.

En relación con el factor uso de proceso, permite cuantificar el rendimiento de las horas trabajadas en el aserradero. El valor recomendable es por encima del 84,4% [10]. El promedio de formación tecnicada de empleados en las pymes del sector maderero es de 73% [9]. Actualmente, bajo análisis de expertos de la zona, este valor debe rondar el 79% y a lo que aspira mejorar el factor de la empresa es en un 5% [11].

La situación actual se presenta en la siguiente tabla. Esta resume una comparación sencilla entre dos empresas competidoras del sector maderero a pequeña escala, con la empresa a trabajar. Cabe resaltar que se tomaron empresas con sistemas de producción muy similares, sin maquinaria de alta

tecnología y con características ligeramente superiores, para no tener otros factores de brecha.

TABLA I. PRODUCCIÓN COMPARADO CON EMPRESAS DEL SECTOR

Empresa	Pies producidos por día	Margen de ganancia (PEN x pie ³)	Ingresos brutos anuales (PEN)
Empresa 1	2400	0.8	460,800
Empresa 2	2800	0.8	576,000
El aserradero	2200	0.8	384,007

La tabla demuestra el margen de mejora considerable que tiene El Aserradero para poder ser competitiva en cuestión de niveles de producción. Esta problemática se conecta con las mediciones presentadas en los KPI's, y de forma gráfica, en la figura 1 se establecen las causas principales de estas fallas productivas. Considerando que la problemática surge, entre varios aspectos, de los tiempos de preparación prolongados y tiempos de operación sobre extendidos.

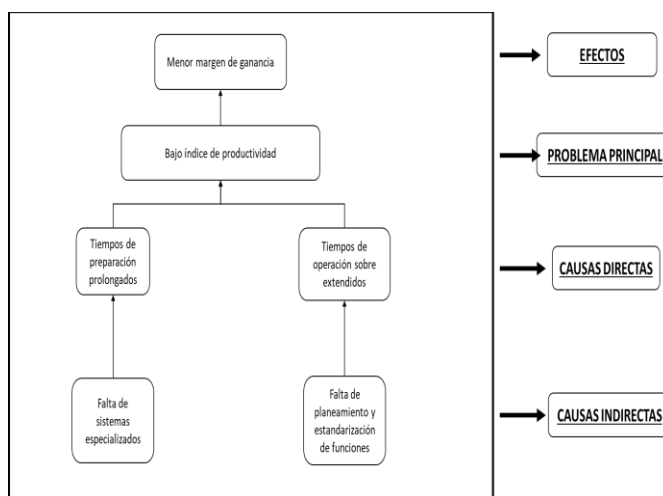


Fig. 1. Árbol de problemas de El aserradero

El árbol de problemas se desarrolló tras el análisis de indicadores y la opinión de los expertos de la empresa [11], esto con el fin de enfocar las propuestas de solución en las áreas de mejora adecuadas.

III. MÉTODO

El diseño metodológico tuvo tres etapas: diagnóstico, desarrollo de la mejora y una validación final con enfoque en la mejora continua. A continuación, en la figura 2, se presenta los pasos que contiene cada una de estas etapas.

El componente inicial del estudio se centró en el diagnóstico, donde se detallan actividades como la recolección de información, el análisis de literatura, el uso del árbol de problemas y la evaluación de indicadores clave de rendimiento (KPI) de la empresa con el sector. El objetivo es identificar áreas críticas y proponer herramientas para resolverlas, priorizando la eficiencia y productividad.

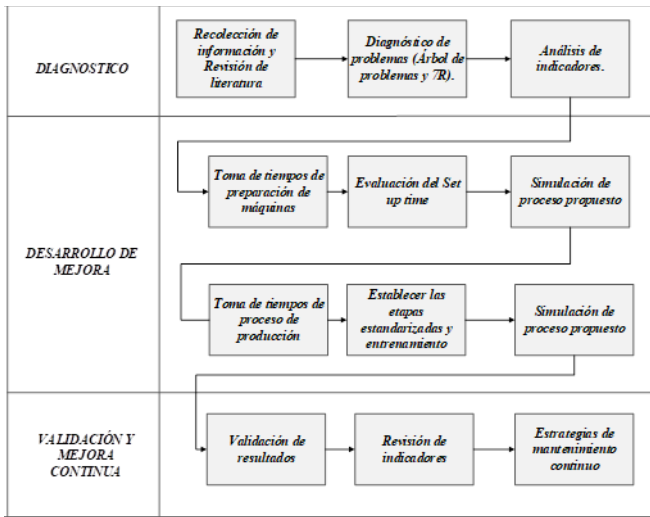


Fig. 2. Pasos de cada componente de la mejora propuesta

Posteriormente, durante el desarrollo se da la implementación de SMED (Single-Minute Exchange of Die) para reducir el tiempo de preparación de máquinas, buscando eliminar actividades superfluas que obstaculizan el cambio de cintas de corte. Para ello se desarrollan tablas con las actividades detalladas, donde se clasifican en internas (máquina encendida) o externas (máquina detenida) para enfocar el tipo de modificación pertinente. Se detalla una estrategia SMED basada en el compromiso de la gerencia y el entrenamiento del personal, con énfasis en la simplificación, estandarización y análisis exhaustivo de problemas.

Asimismo, interviene la implementación de la técnica de estandarización para reducir los tiempos de operación, donde se enfoca en establecer una secuencia específica de acciones en las estaciones de producción. Detalla actividades clave, como capacitación del personal, análisis de flujo de trabajo y desarrollo de procedimientos estandarizados que se evidencian en el manual estandarizado. El proceso incluye la creación de tablas de instrucciones, entrenamiento de operarios y seguimiento mediante listas de verificación. La evaluación de resultados se realiza a través de análisis de KPI's y se revisa con la gerencia para garantizar los estándares esperados. Ambas herramientas mencionadas se complementan con el objetivo de modelar un proceso más adecuado a través del simulador Arena.

El componente final se centra en la validación de la mejora aplicada, un procedimiento que implica la evaluación de resultados con el equipo de trabajo, generación de informes para presentar a la administración, comparación con indicadores previamente establecidos y propuesta de mantenimiento a largo plazo con beneficios económicos. Se ofrece capacitación y refuerzo para la estrategia aceptada, mientras que se propone la implementación de la filosofía Lean si la estrategia a largo plazo no es aceptada por la gerencia.

IV. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El proceso de desarrollo de la propuesta en planta pudo tener limitantes al aplicarla de manera presencial, por lo tanto, la alternativa de simulación fue una herramienta indispensable. El proceso consistió en primer lugar, en clasificar las operaciones según su tiempo de procesamiento y su encargado o recurso utilizado, las cuales son las variables indispensables para el modelado en el software Arena. Cabe resaltar que la herramienta SMED se enfoca en las actividades relacionadas a la preparación de las máquinas tras los constantes cambios de cinta, mientras que la estandarización se enfoca en todo el proceso. En la tabla II se presenta una muestra de las clasificaciones. Las actividades para el modelo actual tuvieron un total de 58 actividades, mientras que el modelo propuesto alrededor de 45.

TABLA II. FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN EN ARENA

N	Actividades	Tiempo	Operador/Recurso
1	Revisión de ficha de pedidos	avg (30 seg)	Maquinista
2	Revisión de la materia prima	avg (2 min)	Operador 1 y maquinista
3	Transporte de la materia prima	avg (2 min)	operador 1, 2 y 3
4	Buscar herramientas	avg (25 seg)	Maquinista
5	Abrir la tapa de la maquina	avg (15 seg)	Maquinista
6	Revisar y ajustar la cinta	avg (35 seg)	Maquinista y operador 2
7	Lubricar la cinta	avg (15 seg)	Maquinista / aceitera
8	Limpiar el área de trabajo	Avg (1 min)	operario 2 y 3
9	Rastrillado de tronco (proceso q quita piedras y otros)	avg (15 seg) / unidad	operador 1

A partir de la clasificación se utilizaron las herramientas SMED y estandarización respectivamente. En primera instancia se generó las evaluaciones del *set up time*, o tiempo de preparación de las máquinas. A partir de la herramienta SMED, se pudo estandarizar y revisar las actividades externas e internas del proceso de preparación de máquinas y cambio de cintas. En las siguientes tablas (III y IV) se muestra la clasificación desarrollada para el modelo original y propuesto, el cual se generó habiendo analizado las actividades que generan menos valor o mayor tiempo muerto.

TABLA III. TIEMPO DE PREPARACIÓN POR ACTIVIDAD EN MÁQUINA TABLEADORA ORIGINAL

ACTIVIDAD	Tiempo promedio	CLASIFICACIÓN	
		INTERNA	EXTERNA
Buscar herramientas	40 seg		x
Abrir la tapa de la maquina	18 seg	x	
Desapretar la cinta	94 seg	x	
Retirar la cinta	30 seg	x	
Trasladar la cinta al centro de afilado	63 seg	x	
Esperar una cinta afilada	65 seg	x	
Trasladar la cinta de vuelta al tronqueado	40 seg	x	
Colocar la cinta	16 seg	x	
Buscar las herramientas de limpieza	35 seg		x
Limpieza de la maquina	100seg	x	
Reajustar la cinta	104 seg	x	
Buscar lubricante	18 seg		x
Lubricar la cinta	40 seg	x	
Revisar y encender la cinta	15 seg	x	
TOTAL	578 seg	485 seg	93 seg

TABLA IV. TIEMPO DE PREPARACIÓN POR ACTIVIDAD EN MÁQUINA TABLEADORA PROPUESTA

	Tiempo (Avg)	CLASIFICACIÓN	
		INTERNA	EXTERNA
Abrir la tapa de la maquina	18 seg	x	
Desapretar la cinta	80 seg	x	
Retirar la cinta	30seg	x	
Trasladar la cinta al centro de afilado	60 seg	x	
Trasladar la cinta de vuelta al tronqueado	40 seg	x	
Colocar la cinta	16 seg	x	
Limpieza de la maquina	90 seg	x	
Reajustar la cinta	104 seg	x	
Lubricar la cinta	35 seg	x	
Revisar y encender la cinta	15 seg	x	
TOTAL	488 seg	488 seg	0

El proceso estandarizado resulta en un proceso de cambio de cinta con mejor aprovechamiento de las actividades internas, y una redistribución de las actividades externas, logrando trabajos en paralelo o eliminando repeticiones como la búsqueda de herramientas.

En segunda instancia, una vez ajustado la preparación de máquinas y cambios de cinta, se desarrolló una diagramación mediante BizAgi, con el objetivo de concertar el proceso estandarizado. En el diagrama a continuación (Figura 3) se visualiza la estrategia de diagramación del proceso para el ajuste en la estandarización.

A través del diagrama, en conjunto con los tiempos obtenidos, se ajustaron las actividades bajo un análisis en vínculo con la opinión de los líderes de la empresa. Enfocados en acciones de poco valor, repetitivas, por la falta de orden y estandarización como la búsqueda de herramientas y materiales de seguridad. Además, permitió visualizar las actividades que podían hacerse en paralelo, y aquellas que requerían una capacitación para mejorar los tiempos y el rendimiento. Asimismo, facilitó la designación de recursos y responsables para el modelo propuesto. De esta forma se redujeron considerablemente las actividades.

A partir de estas clasificaciones, se modeló en el software Arena 16.1, tanto el escenario inicial, el cual se configuró en base a los resultados obtenidos en el diagnóstico, y el escenario propuesto. Se dividió el flujo completo en 5 secciones de análisis: Preparación de la máquina de tableado, preparación de tronqueadora, tronqueado, tableado y cambios de cinta. De esta manera los recursos utilizados fueron más identificables en el análisis de resultados.

El simulador permitió el análisis sobre la modificación de los pasos realizados en las estaciones de trabajo. A través de las herramientas SMED y estandarización, las actividades fueron modificadas y reducidas en busca de mejorar los tiempos productivos y aprovechar más los recursos. Para ello, el software Arena 16.1 permitió estas apreciaciones.

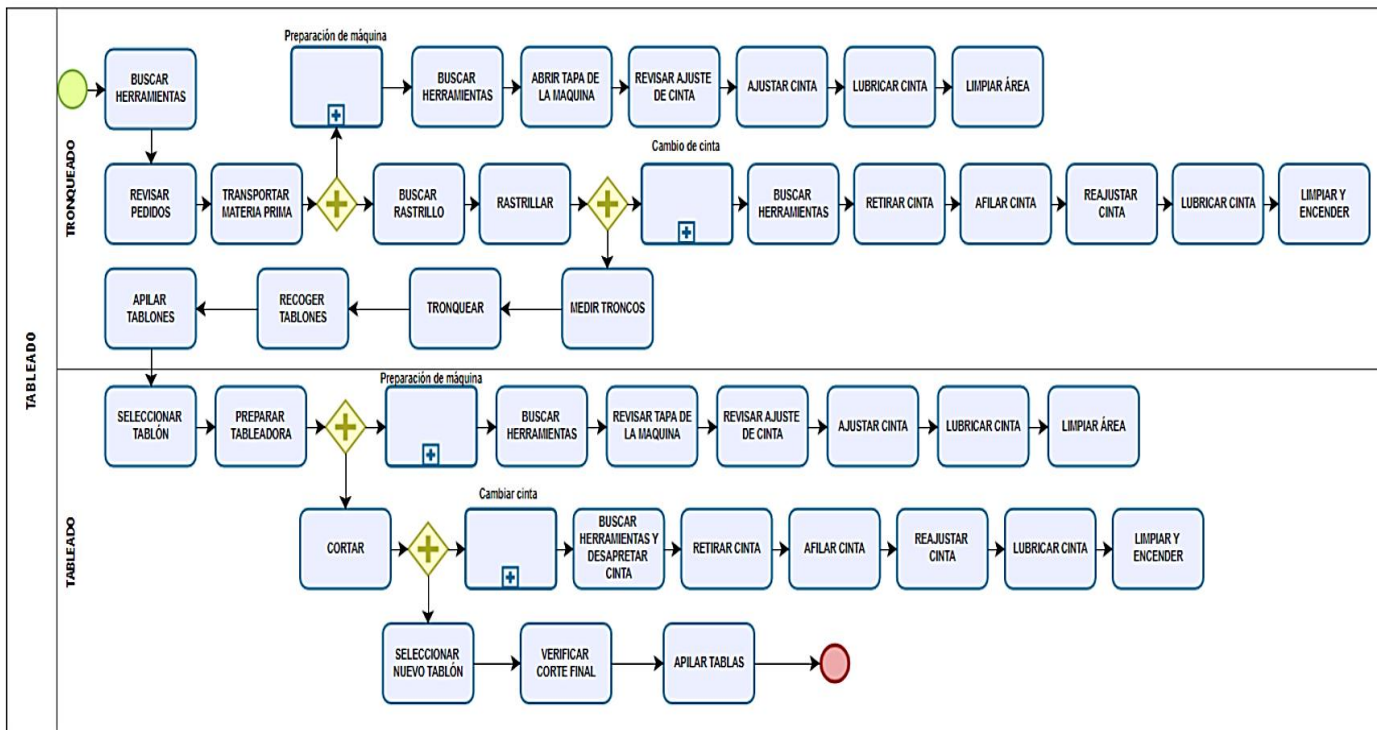
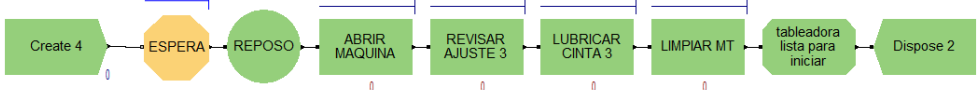


Fig. 3. Diagramación del proceso de producción inicial

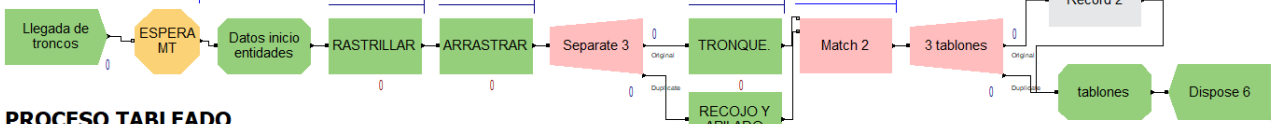
PREPARAR LA MAQUINA TRONQUERA



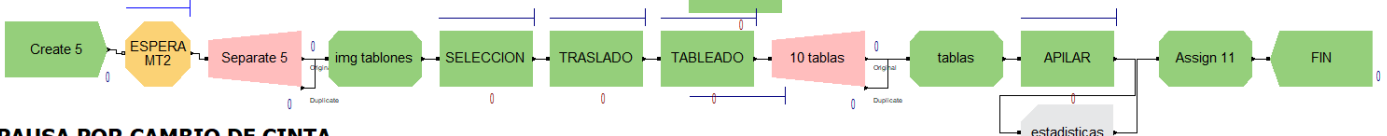
PREPARAR LA MAQUINA TABLEADORA



PROCESO TRONQUEADO



PROCESO TABLEADO



PAUSA POR CAMBIO DE CINTA

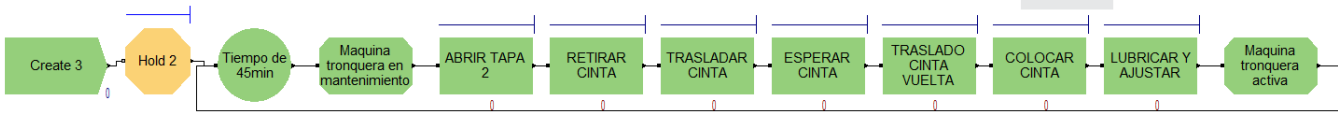


Fig. 4. Estructura del modelo de simulación propuesto en Arena 16.1

V. RESULTADOS

Los resultados del análisis del simulador, considerando las variables más relevantes, se presentan en la siguiente tabla.

TABLA V. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL SIMULADOR ARENA PARA EL ESCENARIO PROPUESTO

Variable	Proceso Actual	Proceso propuesto
Tiempo de uso de máquina tableadora	20,01 min	38.98 min
Tiempo de uso de máquina tronquera	63,85 min	67.05 min
Tiempo de uso de maquinista	76,48 min	87.83 min
Tiempo de uso de operario	60,91 min	75.29 min
Tiempo de uso de operario 2	42.64 min	47.03 min
Tiempo de uso de operario 3	24.43 min	33.97 min
Tiempo promedio de tronqueado	49.58 min	38.65 min
Tiempo promedio de tableado	198.58 min	173.40 min
Producción de troncos	25 unidades	30 unidades
Producción de tablonas	75 unidades	90 unidades
Producción de tablas	690 tablas	889 tablas

La tabla proporciona una comparación detallada entre el proceso actual y el proceso propuesto en términos de tiempos de uso de maquinaria y personal, tiempos promedio de tronqueado y tableado, y producción de troncos, tablonas y tablas. Este análisis resalta diferencias significativas entre ambos procesos.

Cabe resaltar que el tiempo de uso de los operarios también representa su tiempo de limpieza, traslado entre máquinas, entre otros.

En el proceso propuesto, se observa un aumento en el tiempo de uso de la máquina tableadora, lo que sugiere una mayor actividad en esta etapa del proceso. Por otro lado, el tiempo de uso de la máquina tronquera es ligeramente mayor en el proceso propuesto, pero la diferencia es mínima.

El tiempo de uso del maquinista aumenta en el proceso propuesto, lo que puede deberse a un mayor tiempo de operación necesario para gestionar la producción mejorada. Los tiempos de uso de los operarios 1, 2 y 3 también aumentan en el proceso propuesto, lo que puede estar relacionado con una mayor demanda de trabajo debido al aumento en la producción.

En cuanto a los tiempos promedio de tronqueado y tableado, se observa una mejora en ambos en el proceso propuesto. Esto sugiere una mayor eficiencia en la producción y un proceso más ágil. La producción de troncos, tablonas y tablas también aumenta significativamente en el proceso propuesto, lo que indica una mayor capacidad de producción y un uso más eficiente de los recursos.

En resumen, el proceso propuesto sugirió un mejor aprovechamiento de los recursos, tanto en términos de tiempo de maquinaria como de personal, pero con mejoras sustanciales en términos de tiempos promedio de procesamiento y producción. Cabe resaltar que la mayor utilización de recursos no habría generado gastos adicionales, dado que se respetaron las horas hombre y el margen presupuestal para recursos de maquinaria y energía. Estos resultados sugieren que el proceso

propuesto tenía el potencial de ampliar la producción aprovechando eficientemente los recursos.

VI. DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos tras la implementación del modelo en el software Arena indica un mayor aprovechamiento en el uso de recursos, reflejado tanto en el tiempo de maquinaria como en el desempeño del personal. A pesar de este aumento, se observaron mejoras sustanciales en los tiempos de procesamiento y en la producción general de la empresa. El incremento en el tiempo de uso de la máquina tableadora y el mayor tiempo de operación del personal reflejan una mayor actividad, indicando una respuesta positiva a la demanda de producción mejorada.

Como se planteó previamente, los indicadores esenciales de la propuesta eran los resultados productivos, el tiempo de preparación de máquinas y el factor de uso de los recursos. A continuación, se presentan los resultados según los KPI's buscados.

TABLA VI. RESULTADOS PRE TEST Y POST TEST SEGÚN INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD

Objetivo	Antes (pretest)	Después (post test)	Variación
1. Aumentar la productividad laboral	284.62 pies cúbicos/ hora	366.71 pies cúbicos / hora	+ 28.84%
2. Reducir el tiempo de preparación de máquinas	10 minutos / máquina	6 minutos / máquina	-40%
3. Optimizar el factor de uso de proceso	79%	85%	+6%

Se destaca un aumento revelador en la producción, con un incremento de 199 unidades y un aumento del 28.84% en la productividad laboral. Además, se logró reducir el tiempo de preparación de máquinas a aproximadamente 6 minutos, lo que representa una disminución del 40% en comparación con el tiempo previo. Estos resultados se complementan con un mejoramiento en el factor de uso del proceso, aumentando del 79% al 85%. Esta mejora se atribuye a una mejor secuencia de actividades y ahorro de tiempo en las preparaciones de máquinas.

En comparación con estudios similares, lo trabajado tiene relación con los hallazgos de quienes aplicaron SMED para reducir el tiempo de cambio de herramientas en tres máquinas, logrando una reducción promedio del 47% en el tiempo necesario para cambiar las órdenes de fabricación. [12], mientras que, sobre la técnica de estandarización, estudios vinculados en una pequeña y mediana empresa dedicada a la fabricación de muebles mostraron un incremento significativo del 11.82% en la productividad, un aumento del 50% en la producción y una marcada reducción del tiempo operativo, pasando de 398 minutos a 330.67 minutos [13].

El modelo propuesto muestra un potencial considerable para mejorar la eficiencia en el sector maderero, demostrando mejoras en la productividad, reducción de tiempos de preparación y mejor uso de recursos. Se resalta su contribución

a la sostenibilidad y competitividad del sector, aunque su éxito dependerá de su adaptación a las condiciones y operaciones individuales de cada empresa. La viabilidad de su replicación a nivel global dependerá de factores como regulaciones forestales, recursos disponibles y condiciones del mercado, aunque su implementación en regiones con enfoque en la gestión sostenible y eficiencia operativa es factible y prometedora.

VII. CONCLUSIONES

El estudio sobre la implementación del enfoque Lean Manufacturing reveló resultados sumamente positivos en términos de eficiencia y productividad. La reducción significativa en los tiempos de procesamiento, específicamente en las etapas de tronqueado y tableado, indicó una mejora notable en la agilidad del proceso de producción. Este cambio se tradujo en una mayor eficiencia para abordar los desafíos empresariales clave, destacándose un aumento del 28.84% en la productividad laboral. Esta mejora se reflejó en ingresos mensuales sustanciales, alrededor de 15 mil soles, consolidando indicadores económicos que respaldan la viabilidad y la competitividad de la empresa.

La aplicación de herramientas como SMED también tuvo un impacto significativo al reducir drásticamente el tiempo de preparación de las máquinas, disminuyendo los tiempos de inactividad y aumentando la disponibilidad de los equipos para la producción. La estandarización contribuyó a mejorar la secuencia de actividades y a reducir los tiempos muertos, evidenciado por un aumento del factor de uso de maquinaria del 79% al 85%. Este hallazgo señala una gestión más eficiente de los recursos y una mejor utilización de la maquinaria disponible.

La capacidad de producción mejorada en troncos, tablones y tablas resultó fundamental para satisfacer la creciente demanda del mercado, aprovechando de manera más eficiente los recursos disponibles. A pesar del aumento en el uso de recursos, tanto en tiempo de maquinaria como de personal, se concluyó que esta inversión adicional estaría plenamente justificada debido a la mejora significativa en la producción y la eficiencia general del proceso.

Es esencial considerar cómo adaptar estas mejoras a otras empresas madereras o entornos de producción similares, así como explorar su viabilidad y transferibilidad a otros sectores. Las futuras investigaciones deberían centrarse en abordar la gestión efectiva de una mayor demanda de trabajo, posiblemente mediante estrategias de programación o tecnologías personalizadas, ya que se observó una relación directa entre el aumento de la producción y el incremento en los tiempos de uso de los operarios. Estos esfuerzos adicionales podrían contribuir a optimizar aún más los procesos y la productividad en diferentes contextos industriales.

REFERENCIAS

- [1] Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de la Madera (CITE). (2018). *La industria de la madera en el Perú*. Lima <https://www.fao.org/3/I8335ES/I8335es.pdf>
- [2] Sandoval Díaz, S. M., Ramírez Ávila, G. M., & Gutiérrez-Domínguez, G. (2017). *Lean manufacturing para mejorar la productividad en la*

- industria maderera: un estudio de caso. Tecnura*, 21(52), 105-118. DOI:10.14483/22487638.11495.
- [3] Alves, M., Guerra, C., & Fonseca, R. (2016). *Propuesta de mejora del proceso de producción de una empresa maderera en el norte de Portugal*. *Revista Tecnológica-Estudios de Casos*, 5(1), 56-73.
- [4] Del Castillo, J., Rojas, Y., & Chirinos, J. (2020). *Análisis de los factores críticos de éxito para el desarrollo de la industria maderera en el Perú*. *Investigación y Desarrollo en Tecnología*, 1(1), 1-11.
- [5] Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.
- [6] Da Silva, I. B., & Godinho Filho, M. (2019). *Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- [7] Barrientos-Ramos, N., Tapia-Cayetano, L., Maradiegue-Tuesta, F., & Raymundo, C. (2020). *Lean manufacturing model of waste reduction using standardized work to reduce the defect rate in textile MSEs*. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 1-8. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.356>
- [8] Lay-De-León, Rosa Nathaly, Acevedo-Urquiaga, Ana Julia, & Acevedo-Suárez, José Antonio. (2022). *Guía para la aplicación de una estrategia de mejora continua. Ingeniería Industrial*, 43(3), 30-48. Epub 11 de noviembre de 2022. Recuperado en 19 de mayo de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362022000300030&lng=es&tng=es
- [9] Abu, F., Saman, M.Z.M., Garza-Reyes, J.A., Gholami, H. and Zakuan, N. (2022), Challenges in the implementation of lean manufacturing in the wood and furniture industry", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 33 No. 1, pp. 103-123. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2021-0029>
- [10] Hernandez, G., Arriagada, M., Troncoso, L. (2021). *Indicadores de gestión para la pyme de aserrío*. Instituto Forestal. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/30390/30390.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [11] Balarín Milko, (2023). Entrevista personal sobre indicadores de la industria maderera.
- [12] Roriz, C., Nunes, E., Sousa, S. (2017). *Application of Lean Production Principles and Tools for Quality Improvement of Production Processes in a Carton Company*. *Procedia Manufacturing*, 11(1), 1069-1076. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.218>
- [13] Kawakami-Arevalo, S., Veliz-Torres, M. S., Quiroz-Flores, J. C. & Noriega-Aranibar, M. T. (2022). *Increased Productivity through a Production Model Based on Lean Manufacturing and SLP Tools in Small Furniture Manufacturing Workshops. In Proceedings of the 8th International Conference on Industrial and Business Engineering, ICIBE 2022, Macau, China, September 2022, 419-425*. <https://doi.org/10.1145/3568834.3568873>