Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Industrial
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

Incremento de la productividad aplicando la técnica SMED en la máquina KTCC del proceso Finger Joint de una fábrica de puertas y accesorios

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR

Eder Arturo CHUQUIHUACCHA ALFARO

ASESOR

Mg. Jorge José ESPONDA VÉLIZ

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Chuquihuaccha, E. (2025). *Incremento de la productividad aplicando la técnica SMED en la máquina KTCC del proceso Finger Joint de una fábrica de puertas y accesorios*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Eder Arturo Chuquihuaccha Alfaro
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48226745
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge José Esponda Véliz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07673952
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7841-0291
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Oscar Rafael Tinoco Gomez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08606920
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Maria del Rosario Elsa Parraga Velasquez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25662267
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Willy Hugo Calsina Miramira
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09512630
Datos de investigación	

Línea de investigación	12. Calidad, mejora y optimización de la producción. ODS 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES. C.17.0.12
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	No aplica.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Planta Manchay ARES PERU SAC País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Pachacamac Calle: Av. Victor Malasquez 2015 Latitud: -12.16610 Longitud: -76.86559
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2025 - Agosto 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de Producción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.03 Ingeniería Industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

VICEDECANATO ACADÉMICO

ACTA DE SUSTENTACIÓN Nº039-VDAP-FII-2025

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

El Jurado designado por la Facultad de Ingeniería Industrial, reunido en acto público en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Industrial, el día **miércoles 30 de julio de 2025**, a las 12:00 horas, dio inicio a la sustentación de la tesis:

"INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD APLICANDO LA TÉCNICA SMED EN LA MÁQUINA KTCC DEL PROCESO FINGER JOINT DE UNA FÁBRICA DE PUERTAS Y ACCESORIOS"

Que presenta el Bachiller:

EDER ARTURO CHUQUIHUACCHA ALFARO

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial en la Modalidad: **Ordinaria.**

Luego de la exposición, absueltas las preguntas del Jurado y siendo las ..13:00.. horas se procedió a la evaluación secreta, habiendo sido ..APROBADO.. por ..UNANIMIDAD.. con la calificación promedio de ..DIECISIETE (17).., lo cual se comunicó públicamente.

Lima, 30 de julio del 2025

DR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ
Presidente

MG. MARIA DEL ROSARIO ELSA PÁRRAGA VELÁSQUEZ
Miembro

MG. WILLY HUGO CALSINA MIRAMIRA
Miembro

MG. JORGE JOSÉ ESPONDA VÉLIZ
Asesor

DR. JULIO ALEJANDRO SALAS BACALLA
Vicedecano Académico – FII

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **ESPONDA VÉLIZ JORGE JOSÉ** en mi condición de asesor acreditado con **DICTAMEN N° 002-EPII-FII-2025** de la tesis, cuyo título es **INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD APLICANDO LA TÉCNICA SMED EN LA MÁQUINA KTCC DEL PROCESO FINGER JOINT DE UNA FÁBRICA DE PUERTAS Y ACCESORIOS**, presentado por el bachiller **EDER ARTURO CHUQUIHUACCHA ALFARO** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL**, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **18%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del Título Profesional especialidad correspondiente.

Lima, 22 de setiembre del 2025



Firma del Asesor
Nombres y Apellidos del asesor: **ESPONDA VÉLIZ JORGE JOSÉ**
DNI: **07673952**

AGRADECIMIENTOS

Con la culminación de esta tesis, me siento profundamente agradecido por el invaluable apoyo que he recibido a lo largo de este proceso. En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su amor, comprensión y apoyo incondicional. Gracias por haberme enseñado la importancia del esfuerzo, la dedicación y el compromiso. Su sabiduría y su confianza en mí han sido pilares fundamentales en cada paso de mi vida.

A mi esposa, a quien debo un agradecimiento eterno. Tu apoyo emocional ha sido fundamental en este camino. Gracias por ser mi compañera incansable, por tus palabras de aliento y por tu paciencia. Tu amor y comprensión han sido una fuente de fuerza constante, especialmente en los momentos de mayor dificultad. Este logro es también tuyo, ya que sin tu apoyo, no habría sido posible. Te dedico cada éxito alcanzado, ya que eres la razón de muchas de mis sonrisas y mi mayor motivación.

A mis suegros, mi más sincero agradecimiento por su apoyo constante y generoso. Gracias por estar siempre dispuestos a ayudarme y por haberme recibido como parte de su familia. Su apoyo me ha permitido concentrarme en mis estudios con la tranquilidad de saber que puedo contar con ustedes en todo momento.

A todos ustedes, les debo no solo el éxito de esta tesis, sino también el impulso para seguir creciendo y alcanzando nuevas metas. Sin su ayuda, este logro no habría sido posible.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, quienes desde el inicio de mi camino académico me han ofrecido su amor, apoyo y sabiduría. A ustedes les debo la base de todo lo que soy y todo lo que he alcanzado. Gracias por haberme mostrado el valor del esfuerzo y por brindarme siempre la oportunidad de aprender y crecer.

A mi esposa, por ser mi fuente constante de inspiración y por estar a mi lado en cada desafío. Tu amor y apoyo han sido la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante incluso cuando el camino parecía difícil. Esta tesis refleja también tu dedicación y tu entrega, ya que sin ti, este logro no habría sido posible.

A mis suegros, por su generosidad y por el apoyo que me brindaron en todo momento. Su confianza en mí y su disposición para ayudarme a avanzar me han permitido superar muchas barreras. Agradezco profundamente su amor y su comprensión.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento y dedicación. Sin su presencia, este logro no sería el mismo.

INDICE GENERAL

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1. Situación Problemática 1

1.2. Planteamiento del problema 1

1.2.1. Determinación del problema 1

1.2.2. Formulación del problema 2

1.3. Objetivos 3

1.3.1. Objetivo general 3

1.3.2. Objetivos específicos 3

1.4. Justificación de la investigación 3

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 5

2.1. Antecedentes del estudio 5

2.2. Bases teóricas 7

2.2.1. Concepto SMED 7

2.2.2. Tiempo de cambio de formato 7

2.2.3. Actividades internas y externas 9

2.2.4. Metodología SMED 10

2.3. Glosario 13

3. CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES 15

3.1. Hipótesis 15

3.1.1. Hipótesis general 15

3.1.2. Hipótesis específicas 15

3.2. Identificación de variables 15

3.2.1. Variable dependiente 15

3.2.2. Variables independientes 15

3.3. Matriz de consistencia y operacionalización de variables 15

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA EMPRESA 17

4.1. Descripción de la empresa 17

4.2. Estructura Organizacional 19

4.3. Estructura productiva 20

4.4. Procesos productivos en la línea 3 21

4.4.1. Cepillado 21

4.4.2. Opticut 22

4.4.3. Finger Joint 22
4.4.4. Corte Múltiple 23
4.4.5. Moldurado 23
4.4.6. Empastado 24
4.4.7. Recubridora 24
4.5. Oportunidades de mejora en el proceso 25
4.5.1. Paradas de línea 26
4.5.2. Horas-hombre desperdiciadas 27
4.6. Caso de estudio 28
4.6.1. Diagrama de Ishikawa 28
5. CAPÍTULO V: METODOLOGÍA 31
5.1. Línea de investigación 31
5.2. Tipo y diseño de investigación 31
5.3. Población y muestra 32
5.4. Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos. 32
5.4.1. Técnicas 32
5.4.2. Instrumentos 32
6. CAPÍTULO VI: RESULTADOS 33
6.1. Presentación de resultados 33
6.1.1. Etapa 1: Estudio preliminar del proceso seleccionado 33
6.1.2. Etapa 2: Diferenciar actividades internas y externas 36
6.1.3. Etapa 3: Convertir actividades internas en externas 38
6.1.4. Etapa 4: Perfeccionamiento de actividades del proceso 42
6.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados 48
6.3. Análisis Inferencial 56
6.3.1. Contrastación de la hipótesis general 57
7. CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS 63
8. CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65
8.1. Conclusiones 65
8.2. Recomendaciones 66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 67

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Pasos en el proceso de cambio de formato 8

TABLA 2 Matriz de consistencia y operatividad 16

TABLA 3 Cantidad de trabajadores por proceso - Línea 3 25

TABLA 4 Tiempos de parada - Línea 3 27

TABLA 5 Horas-hombre desperdiciadas 28

TABLA 6 Programa de Finger Joint 30

TABLA 7 Actividades del operador de máquina 34

TABLA 8 Clasificación de actividades del Operador de máquina 36

TABLA 9 Actividades a convertir del Operador de máquina 38

TABLA 10 Clasificación de actividades del Operador de máquina luego de la etapa 3 40

TABLA 11 Actividades internas a perfeccionar 42

TABLA 12 Actividades del Operador de máquina luego del perfeccionamiento 47

TABLA 13 Resumen del nuevo tiempo de cambio de formato 49

TABLA 14 Producción histórica mensual por proceso (metros lineales) 49

TABLA 15 Producción mensual promedio por proceso 50

TABLA 16 Cálculo de ahorro anual 51

TABLA 17 Costo Horas-hombre por puesto de trabajo 52

TABLA 18 Costos de implementación 54

TABLA 19 Flujo de caja 55

TABLA 20 Regla de decisión datos paramétricos y no paramétricos 56

TABLA 21 Test Kolmogorov-Smirnov datos antes del proyecto 57

TABLA 22 Kolmogorov-Smirnov de tablas 59

TABLA 23 Test Kolmogorov-Smirnov datos después del proyecto 59

TABLA 24 Valor P aplicando T-Student 61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Etapas de la metodología SMED 12

FIGURA 2 Cambio de ruedas fórmula 1 - 1950 12

FIGURA 3 Cambio de ruedas fórmula 1 - 2013 13

FIGURA 4 Flujo de la cadena de suministro 17

FIGURA 5 Flujograma de la elaboración de marcos 18

FIGURA 6 Estructura organizacional de producción 19

FIGURA 7 Procesos de producción por línea 20

FIGURA 8 Proceso Cepillado - Línea 3 21

FIGURA 9 Proceso Opticut - Línea 3 22

FIGURA 10 Proceso Finger Joint - Línea 3 23

FIGURA 11 Proceso Moldurado - Línea 3 24

FIGURA 12 Diagrama de Ishikawa - Baja productividad 29

FIGURA 13 Layout máquina KTCC 33

FIGURA 14 Tuerca mariposa 44

FIGURA 15 Abrazadera con bisagra 45

FIGURA 16 Tope metálico prensa de Finger Joint 46

RESUMEN

En la actualidad, las empresas tienen por necesidad adquirir ventajas competitivas que les permitan tener presencia en el mercado. Un punto importante es el plazo de entrega que se vuelve crítico cuando el producto tiene diversas especificaciones técnicas, esto amerita que los lotes de producción sean cada vez más pequeños. Particularmente en estos casos la productividad debe maximizarse, pero en muchas ocasiones las empresas deciden invertir en tecnología costosa para incrementar su capacidad instalada en lugar de enfocarse en la eliminación de desperdicios que también brinda una mejora en la productividad.

El presente estudio tiene como objetivo elaborar una propuesta de mejora para reducir el tiempo de cambio de formato en una máquina productiva de un proceso Finger Joint, para lograrlo se aplicará la metodología SMED, una técnica que consta de 4 etapas desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en el año 1950 y que hasta el día de hoy es aplicada en diversas empresas.

En la primera etapa se realiza el levantamiento de la información necesaria que permita mostrar el estado actual del proceso, en la etapa siguiente se clasifican las actividades de acuerdo a la definición teórica a fin de diferenciar aquellas que influyen directamente en el cambio de formato. En la etapa número 3 se aplican técnicas para transformar actividades internas a externas y en la última etapa se realiza un análisis exhaustivo de las actividades internas con el objetivo de reducir al máximo el tiempo de ejecución que toma cada una. Luego de las 4 etapas se logra el tiempo óptimo de cambio de formato.

Finalmente, se evalúa el impacto económico con los indicadores TIR y VAN para una correcta toma de decisiones.

ABSTRACT

Currently, companies must acquire competitive advantages to ensure their presence in the market. One important factor is delivery time, which becomes critical when the product has various technical specifications. This often requires production batches to be increasingly smaller. In such cases, productivity must be maximized. However, companies often choose to invest in expensive technology to increase their installed capacity instead of focusing on waste elimination, which also leads to productivity improvements.

The objective of this study is to develop a proposal for improvement to reduce the format changeover time on a production machine used in a Finger Joint process. To achieve this, the SMED methodology will be applied—a technique consisting of four stages developed by Japanese engineer Shigeo Shingo in 1950, which is still used by many companies today.

In the first stage, the necessary information is gathered to show the current state of the process. In the next stage, activities are classified according to theoretical definitions to distinguish those that directly influence the format changeover. In the third stage, techniques are applied to convert internal activities into external ones. Finally, in the fourth stage, a thorough analysis of internal activities is conducted with the aim of minimizing the execution time of each one. After completing all four stages, the optimal format changeover time is achieved.

Lastly, the economic impact is evaluated using the IRR (Internal Rate of Return) and NPV (Net Present Value) indicators to support sound decision-making.

Incremento de la productividad aplicando la técnica SMED en la máquina KTCC del proceso Finger Joint de una fábrica de puertas y accesorios.

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

Actualmente se tiene proyectada un alza del 1.5% en el sector construcción para el segundo semestre del 2023. El crecimiento vertical de viviendas es impulsado por las inmobiliarias. Dichas empresas trabajan de la mano con muchos rubros entre los cuales se encuentra la fabricación de piezas de interiores, como lo son las puertas y marcos para los departamentos. En el Perú, existen diversas empresas que abastecen los productos en mención entonces se hace indispensable generar ventajas competitivas que permitan generar un valor agregado en calidad, costo, etc. Para este fin las empresas optan por mejorar la oferta y reducir costos sin que la calidad sea afectada en el proceso, así pues, la aplicación de herramientas de la ingeniería industrial es necesaria. Este trabajo de investigación se enfoca en incrementar la productividad del cuello de botella existente en la línea de fabricación de blanks, específicamente en la máquina KTCC del proceso Finger Joint, y visualizar los beneficios obtenidos al reducir tiempos de cambio de formato innecesarios.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Determinación del problema

La empresa distribuye sus procesos en tres líneas:

- LÍNEA 1: Fabricación de carátulas

- LÍNEA 2: Fabricación de puertas
- LÍNEA 3: Fabricación de marcos

La línea 3 se encarga de la transformación de madera aserrada a marcos recubiertos. Para ello la materia prima pasa por siete procesos los cuales son: Cepillado, Opticut, Finger Joint, Corte múltiple, Moldurado, Empastado y Recubrimiento. Con respecto a las capacidades de cada máquina se calculó que el cuello de botella de la línea 3 se encuentra en el proceso de Finger Joint el cual tiene un tiempo de cambio de 25 minutos, tiempo que tiende a ser mayor debido a la desorganización y a la falta de programación de actividades relacionadas con el proceso de cambio de formato. Particularmente este es uno de los procesos que más cambios tiene pues los blanks pueden tener hasta cuatro medidas distintas y ser de pocas cantidades a cantidades considerables. El proceso de Finger Joint es el proceso con mayor porcentaje de tiempo muerto traducido en horas-hombre desperdiciadas por paradas de máquina. La productividad del proceso es de 800 metros por hora y según el historial de programas de producción diario se realizan hasta 3 cambios por turno lo que se traduce en 75 minutos destinados al cambio de formato. Considerando que el proceso requiere de 5 personas, se pierden 6.25 horas-hombre diarias en las que los operarios esperan para poder iniciar con el siguiente lote.

1.2.2. Formulación del problema

1.2.2.1. Problema principal

¿En qué medida se podrá incrementar la productividad de la máquina KTCC del proceso de Finger Joint aplicando la técnica SMED?

1.2.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida se podrá reducir el tiempo de cambio de formato de la máquina KTCC en el proceso de Finger Joint aplicando la técnica SMED?
- ¿En qué medida se podrá incrementar la utilidad de la empresa aplicando la técnica SMED en el proceso de Finger Joint?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta de mejora que permita incrementar la productividad de la máquina KTCC del proceso de Finger Joint aplicando la metodología SMED**.**

1.3.2. Objetivos específicos

- Reducir el tiempo de cambio de formato de la máquina KTCC en el proceso de Finger Joint aplicando la herramienta SMED.
- Evaluar el impacto económico en caso de ejecutar la propuesta buscando incrementar la utilidad de la empresa aplicando la herramienta SMED en el proceso de Finger Joint.

1.4. Justificación de la investigación

La mejora continua es un pilar en ingeniería industrial y también parte fundamental de la metodología SMED. Los equipos de producción deben estar comprometidos en la búsqueda continua de oportunidades de optimización del proceso. Es importante tener en cuenta que la metodología SMED no solo se enfoca en la reducción del tiempo de cambio de herramientas,

sino también en la eliminación de cualquier actividad que pueda ralentizar el proceso de producción.

La técnica SMED se enfoca en la eliminación de todas las actividades que no suman valor al proceso productivo y que son realizadas durante el cambio de formato. Con este enfoque, se busca reducir el tiempo necesario para realizar el cambio de herramientas, aumentando la disponibilidad de la maquinaria y mejorando la eficiencia del proceso. De este modo, es posible generar beneficios para la empresa reflejados en el incremento de la productividad diaria, así como también en el aprovechamiento total de la mano de obra directa.

Esta investigación se justifica de manera práctica porque los resultados de la propuesta muestran una clara mejora respecto a la situación actual.

Así también, la investigación se justifica por el potencial económico que tiene ya que al mejorar la productividad puede cubrir un incremento en la demanda de productos, y eso significa mayores ingresos para la empresa.

Este estudio es válido solo para el proceso de Finger Joint puesto que los demás procesos tienen máquinas con diferentes características, adicionalmente el estudio se enfoca en este proceso pues es el cuello de botella de la línea. Cabe resaltar que si se podría aplicar la técnica SMED en los demás procesos de la línea 3.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En los años cincuenta, el ingeniero mecánico Shigeo Shingo, nacido en Japón, realizó un estudio en una de las plantas de MAZDA MOTOR CORPORATION, con el fin de eliminar los tiempos muertos existentes en el proceso de moldeado de carrocerías.

Iniciando su investigación, Shingo realizó la inspección de la fábrica para luego solicitar al jefe de Planta permiso de analizar las actividades que se hacen en el proceso de moldeado, cronometrando tiempos durante una semana. Sin embargo, obtuvo una respuesta poco alentadora pues el jefe de planta argumentaba que la única manera de optimizar la productividad sería comprando más maquinaria, esto, debido a que decía tener a los mejores trabajadores en las prensas de moldeado repartidos en 3 turnos de producción. Aun así, Shingo insistió con su propuesta y convenció al jefe de Planta de llevar a cabo su cometido y si el estudio no diera resultados positivos, él mismo aconsejaría a la alta gerencia que si quisieran aumentar su productividad deberían comprar más máquinas.

Al cabo del tercer día, observó que, al momento de realizar un cambio de molde para las prensas, el operador de máquina no lograba encontrar un tornillo necesario para la ejecución del cambio, y dejó la estación en busca de la pieza mencionada lo cual le tomó alrededor de una hora, sin embargo, la pieza que trajo pertenecía a otro molde. Inicialmente era un tornillo largo, pero fue cortado de modo que pudiera adaptarse al cambio de molde en curso. Shingo se planteó el ¿qué pasaría cuando se tenga que preparar la máquina que contaba con el tornillo largo? En este punto es donde surge el concepto de actividades de preparación diferentes para las máquinas: Preparación interna y Preparación externa.

Según Shingo S. (1993), “Preparación interna, como montar o desmontar matrices, que pueden realizarse solo cuando la máquina está parada.” (p. 24).

Según Shingo S. (1993), “Preparación externa, como transportar las matrices viejas al almacén, o llevar las nuevas hasta la máquina, que pueden realizase mientras la máquina está en operación.” (p. 24).

La correcta aplicación de los principios mencionados incrementó la productividad en 50% eliminando el cuello de botella en la fábrica de MAZDA MOTOR CORPORATION.

Así nacería una nueva metodología para cambios de formato, el SMED. La herramienta fue aplicada años más tarde por MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, TOYOTA MOTOR COMPANY, entre otras.

El ingeniero Shingo señalaba que las empresas únicamente se concentraban en mejorar las habilidades de los operadores en lo relacionado al cambio de calibración, mas no se enfocaban en analizar y mejorar la metodología de cambio de formato. Este episodio dio inicio a un estudio del SMED a lo largo de 19 años con el fin de optimizar la producción mejorando los tiempos de preparación para el cambio de formato.

También se hace mención a estudios anteriores que abordaron el tema de este trabajo de investigación:

Palacios (2017) presentó un estudio de tesis que pretendía aplicar el SMED con el fin de mejorar la eficiencia y eficacia en el proceso de Etiquetado de una empresa. La metodología aplicada fue de carácter aplicativo con un enfoque cuantitativo. El autor llegó a la conclusión que la productividad se incrementó en 37% al aplicar la metodología SMED pasando de 58% a 95%.

Bustamante (2013) en su investigación sobre disminuir tiempos muertos en la sección de Montaje-Metalmecánica al realizar el cambio de matrices en prensas formación de planchas

metálicas también hizo uso de una metodología aplicativa con enfoque cuantitativo. Al término de la investigación se logró una reducción del 49% de tiempo de SETUP gracias a la metodología SMED.

Orihuela (2017) en su investigación "Aplicación del SMED en el proceso de cambio de estación de Elmer posterior para mejorar la productividad en la máquina PI-8 en la empresa Kimberly Clark". Estudio de tipo aplicativo con enfoque cuantitativo, enfocado en optimizar los tiempos de cambio de formato y reducir el tiempo de máquina parada. Se concluyó que la aplicación de la metodología SMED mejorar la productividad del proceso de 52.3% a 73%.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concepto SMED

Al hablar de la metodología SMED, se debe hacer mención a Hernández y Vizán, quienes sostienen que la herramienta SMED es una serie de técnicas que busca reducir los tiempos de calibración de las máquinas o herramientas con el fin de incrementar el tiempo productivo de las mismas. Los cambios a realizar incluyen nuevos dispositivos de alimentación, retirada, ajustes, etc., que permitan separar actividades que puedan ejecutarse con la máquina operativa de aquellas que necesiten realizarse con la máquina parada.

En síntesis, se definirá el SMED como una herramienta que reduce los tiempos de cambio de formato y aumenta la fiabilidad del proceso de cambio.

2.2.2. Tiempo de cambio de formato

Tiempo transcurrido entre la salida de la última pieza producida de una serie determinada

hasta la salida de la primera pieza correcta de otra serie luego de ejecutar una nueva calibración o cambio de herramienta. El proceso de cambio de formato consta de cuatro pasos que se resumen en la tabla 1.

TABLA 1

Pasos en el proceso de cambio de formato

OPERACIÓN	PROPORCIÓN DEL TIEMPO
Preparación, ajustes postproceso y verificación de materiales	30%
Montar y desmontar herramientas	5%
Centrar, dimensionar y fijar otras condiciones	15%
Producción de piezas de ensayo y ajustes	50%

Fuente: Una revolución en la producción: El sistema SMED

2.2.2.1. Preparación, ajustes postproceso y verificación de materiales, moldes, etc.

En este primer paso se asegura todo lo necesario para realizar el nuevo cambio de formato, así mismo, se hace el retiro y la limpieza de materiales de la producción del lote anterior.

2.2.2.2. Montar y desmontar herramientas.

Se retiran los moldes, piezas y herramientas destinadas a la producción del lote anterior y se inicia la calibración para el siguiente lote (colocación de piezas y

herramientas).

2.2.2.3. Centrar, dimensionar y fijar otras condiciones.

Este paso es netamente destinado a la calibración de la máquina para la producción del siguiente lote de producción, incluye la medición de variables (ajustes manuales, presión de aire, velocidad de rodillos, temperatura, etc.).

2.2.2.4. Producción de piezas de ensayo y ajustes.

En este último paso se realizan los últimos ajustes luego de producir una pieza de prueba. La calibración debe ser precisa para reducir el tiempo de calibración y tener lista la primera pieza correcta del siguiente lote de producción.

2.2.3. Actividades internas y externas

Es de vital importancia comprender estos dos conceptos pues serán utilizados en la metodología para la aplicación del SMED:

2.2.3.1. Actividades internas.

Son aquellas realizadas necesariamente cuando la máquina está detenida, no es posible hacerlas mientras la máquina está produciendo.

2.2.3.2. Actividades externas.

Aquellas actividades que se pueden hacer mientras la máquina está en operación.

2.2.4. Metodología SMED

La metodología SMED se divide en 4 etapas para la correcta ejecución:

2.2.4.1. Etapa 1: Identificar todas las actividades realizadas en el cambio de formato.

En esta primera etapa se hace el estudio preliminar del proceso seleccionado. Se identifican todas las actividades realizadas en la calibración para el nuevo lote de producción. Estas actividades deben cronometrarse y documentarse en diagramas de flujo, DOP, check list, etc., de modo que la secuencia y duración de las mismas queden esclarecidas. La limpieza y el orden de trabajo es un punto importante en esta etapa, los dispositivos o herramientas que deban utilizarse para el cambio de formato deben tener una ubicación cercana al área de trabajo. Otro punto importante también es el personal que realiza las calibraciones. Se debe verificar si el operador es competente para el puesto de acuerdo a sus conocimientos y grado de experiencia.

2.2.4.2. Etapa 2: Diferenciar actividades internas y externas.

En esta etapa se separan las actividades que pueden realizarse con la máquina en funcionamiento de las que necesitan la parada de máquina. *"El paso más importante en la realización del sistema SMED es la diferenciación entre la preparación interna y externa." (Shingo S. 1993).* Según palabras de Shingo una clara diferenciación y ejecución correcta de actividades internas reducirá mínimamente en un 30% de tiempo el cambio de formato.

2.2.4.3. Etapa 3: Transformar actividades internas en externas.

Se revisa a detalle la naturaleza de cada actividad tomada como interna y se evalúa la factibilidad de convertirla en una actividad externa, es decir, se busca disminuir las actividades que se ejecutarán únicamente cuando la máquina no esté en marcha, asegurando así, disminuir el tiempo utilizado en el cambio de formato. También se evalúan los métodos utilizados de manera que el proceso de cambio de formato sea más eficiente.

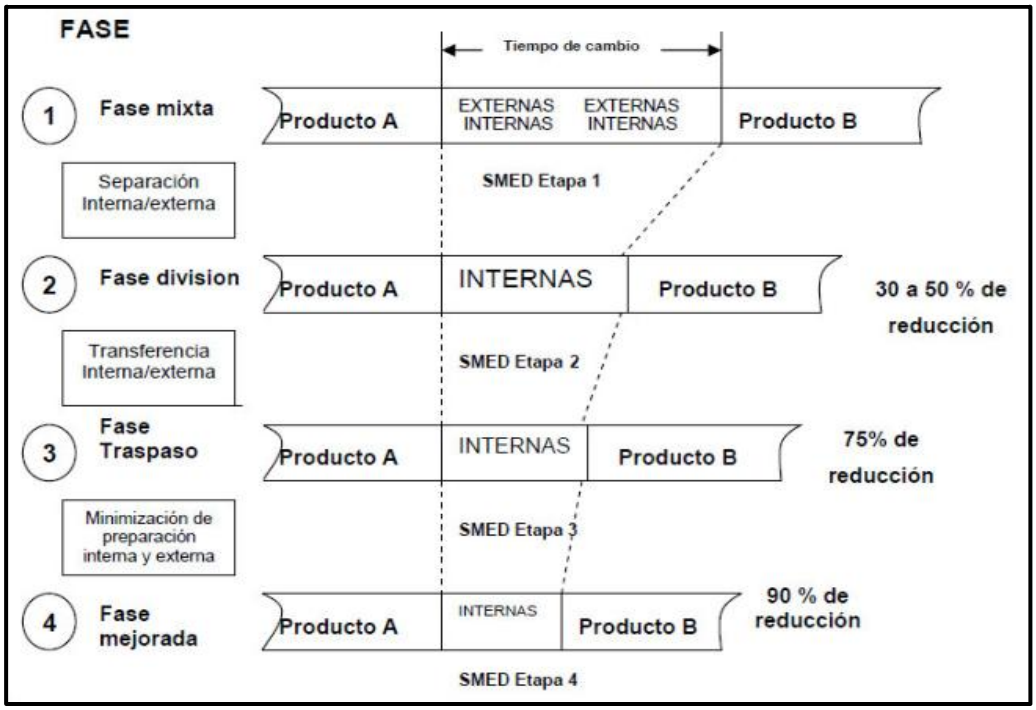
Las operaciones de cambio de formato se pueden dar en cualquier posición de la máquina, si estas operaciones son realizadas por un solo operador se originarán desperdicios en el tiempo transcurrido, principalmente por desplazamiento, por ello existen las operaciones en paralelo realizadas por 2 o más personas de modo que el proceso de cambio de formato se agilice. Un ejemplo claro de esto se da al comparar los cambios de rueda de los autos de carrera de los años 1950 y 2013. En el primer caso demoraban 1 minuto y 6 segundos con 6 personas realizando los cambios, mientras que en el otro escenario se mejoró a 4 segundos de demora con 21 personas trabajando en paralelo (Figuras 1 y 2).

2.2.4.4. Etapa 4: Perfeccionamiento del proceso de cambio de formato.

En esta última etapa se busca perfeccionar todas las actividades del cambio de formato tanto internas como externas analizando cada paso realizado de modo que puedan surgir ideas que permitan reducir aún más el tiempo de cada actividad.

FIGURA 1

Etapas de la metodología SMED



Fuente: Una revolución en la producción: El sistema SMED

FIGURA 2

Cambio de ruedas fórmula 1 - 1950



Fuente: Automoview.com

FIGURA 3

Cambio de ruedas fórmula 1 - 2013



Fuente: Motorsport.com

2.3. Glosario

Blank: Tabla de madera con un determinado espesor, largo, ancho y calidad de acuerdo a especificaciones solicitadas, unida por Finger Joint.

COK: Costo de oportunidad de capital, es la tasa de rendimiento mínima que un inversionista espera obtener al invertir en una nueva alternativa.

Cuello de botella: Todo aquello que ralentiza la velocidad de un proceso.

Finger Joint: El Finger Joint es un sistema de unión de madera que consiste en encolar dos piezas rectangulares de madera tras realizarles pequeños recortes complementarios. Este método permite obtener piezas de madera más largas y resistentes.

Make to order: Se traduce como fabricación bajo pedido, estrategia de fabricación en la

que los productos solo se producen después de que un cliente realiza un pedido.

MDF: es un material de construcción que se obtiene de la compresión de fibras de madera y resinas sintéticas. Es un material versátil, económico y fácil de trabajar.

PCP: Programación y Control de la producción.

Poka Yoke: Se traduce como "a prueba de errores", es una estrategia de mejora continua enfocada en prevenir errores antes de que ocurran.

Productividad: Relación entre las salidas y entradas de un proceso.

RH: El material RH es un material resistente a la humedad que se utiliza en la construcción de muebles y suelos. Se caracteriza por su durabilidad y resistencia a la deformación.

TIR: La tasa interna de retorno es una herramienta fundamental en la evaluación de proyectos de inversión, ya que permite determinar la rentabilidad esperada de una inversión y compararla con otras alternativas

VAN: El valor actual neto es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión.

3. CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La aplicación y ejecución de la técnica SMED reducirá el tiempo de cambio de formato, incrementando la productividad del proceso.

3.1.2. Hipótesis específicas

- La aplicación de la metodología SMED permitirá calcular el tiempo óptimo de cambio de formato.
- La factibilidad económica al ejecutar la propuesta de mejora se medirá con los indicadores TIR y VAN, además del desarrollo de flujo de caja.

3.2. Identificación de variables

3.2.1. Variable dependiente

Tiempo de cambio de formato

3.2.2. Variables independientes

Secuencia de actividades

Asignación de actividades al personal

3.3. Matriz de consistencia y operacionalización de variables

TABLA 2

Matriz de consistencia y operatividad

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**Variable Dependiente**
¿En qué medida se podrá incrementar la productividad de la máquina KTCC del proceso de Finger Joint aplicando la técnica SMED?	Elaborar una propuesta de mejora que permita incrementar la productividad de la máquina KTCC del proceso de Finger Joint aplicando la metodología SMED.	La aplicación y ejecución de la técnica SMED reducirá el tiempo de cambio de formato, incrementando la productividad del proceso.	Tiempo de cambio de formato
Problemas Específicos	**Objetivos Específicos**	**Hipótesis específicas**	**Variable Independiente**
1) ¿En qué medida se podrá reducir el tiempo de cambio de formato de la máquina KTCC en el proceso de Finger Joint aplicando la técnica SMED?	1. Reducir el tiempo de cambio de formato de la máquina KTCC en el proceso de Finger Joint aplicando la herramienta SMED.	I. La aplicación de la metodología SMED permitirá calcular el tiempo óptimo de cambio de formato.	a. Secuencia de actividades b. Asignación de actividades al personal.
2) ¿En qué medida se podrá incrementar la utilidad de la empresa aplicando la técnica SMED en el proceso de Finger Joint?	2. Evaluar el impacto económico en caso de ejecutar la propuesta buscando incrementar la utilidad de la empresa aplicando la herramienta SMED en el proceso de Finger Joint.	II. La factibilidad económica al ejecutar la propuesta de mejora se medirá con los indicadores TIR y VAN, además del desarrollo de flujo de caja.	

Fuente: Elaboración propia

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA EMPRESA

4.1. Descripción de la empresa

La empresa ARES PERU SAC se dedica a la venta masiva de marcos y puertas para proyectos inmobiliarios, así como para el sector retail. Distribuye sus procesos productivos en 3 líneas. La cadena de valor inicia con el área de PCP, haciendo la planificación de los productos a fabricar, para continuar con el aprovisionamiento de materiales y ejecución del programa de producción de dónde se obtendrán productos terminados para luego ser distribuidos por el área de logística. En la figura 4 se puede ver un resumen de lo mencionado. La planta situada en Manchay es una de las más grandes de Sudamérica y está en constante actualización en lo que respecta a maquinarias de uso productivo.

FIGURA 4

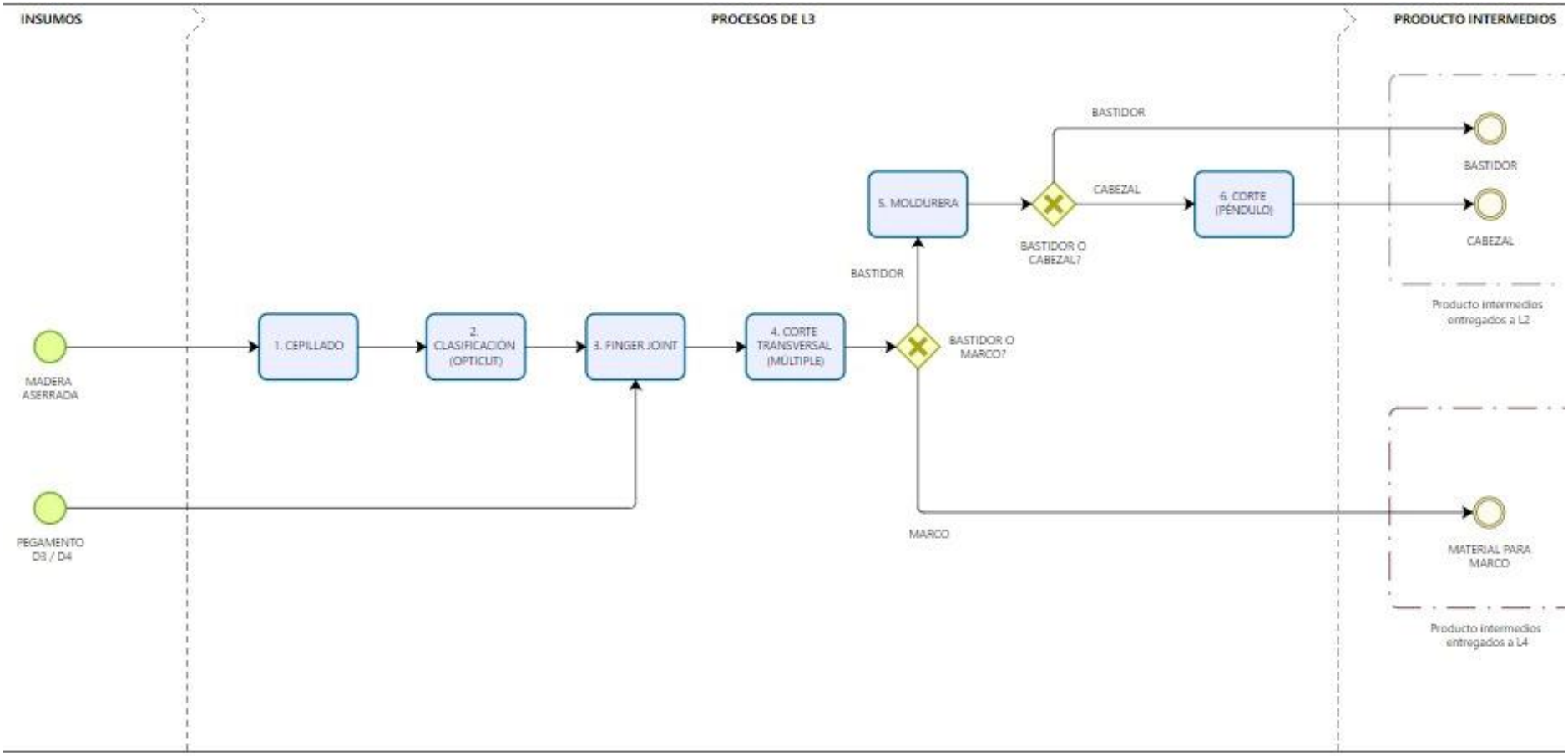
Flujo de la cadena de suministro



Fuente: wautechnologies.co

FIGURA 5

Flujograma de la elaboración de marcos



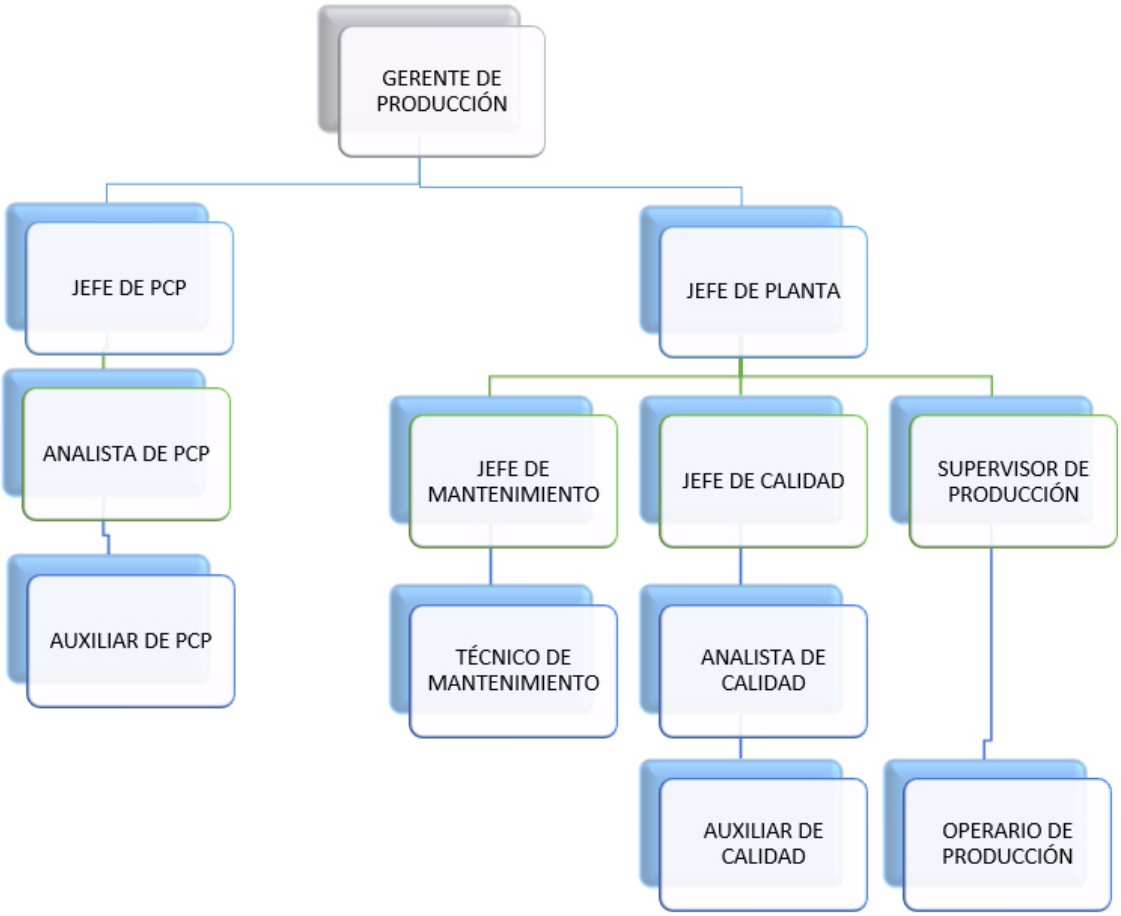
Fuente: Elaboración propia

4.2. Estructura Organizacional

La unidad productiva de Ares está conformada de la siguiente manera: Encabezada por el gerente de producción, teniendo como soporte al área de PCP, mantenimiento y control de calidad. Cada sub área cuenta con un jefe y supervisores que garantizan la fluidez de información y ejecución de acciones planificadas de modo que el programa de producción no sufra alteraciones (Ver Figura 6).

FIGURA 6

Estructura organizacional de producción



Fuente: Elaboración propia

4.3. Estructura productiva

Como se mencionó anteriormente la planta de Manchay divide su producción en 3 líneas diferentes productivas. Adicionalmente a las puertas y marcos también se elaboran molduras con MDF RH. Así pues, en la línea 1 se tienen los procesos productivos necesarios para la terminación de carátulas, en línea 2 los procesos para la elaboración de puertas y en línea 3 los procesos para la elaboración de marcos y molduras. Se puede apreciar mayor detalle en la Figura 7.

FIGURA 7

Procesos de producción por línea



Fuente: Elaboración propia

4.4. Procesos productivos en la línea 3

La línea 3 es la encargada de transformar la materia prima ya sea madera aserrada o MDF HR en marcos e insumos necesarios para la fabricación de puertas. Cuenta con siete procesos productivos principales y otros sub procesos de apoyo. El detalle de cada proceso es el siguiente:

4.4.1. Cepillado

Es el primer proceso de la línea 3. La madera es cepillada de modo que las caras de la tabla de madera queden uniformes para el siguiente proceso. Son necesarias 2 personas para este proceso.

FIGURA 8

Proceso Cepillado - Línea 3



Fuente: Área de impresión PCP – ARES PERU

4.4.2. Opticut

Las maderas cepilladas son trozadas y clasificadas según la calidad de la madera. En este proceso laboran 4 personas.

FIGURA 9

Proceso Opticut - Línea 3



Fuente: Área de impresión PCP – ARES PERU

4.4.3. Finger Joint

Proceso en el que se unirán piezas de una misma calidad y se transforman en tablas de primera, segunda o tercera calidad.

FIGURA 10

Proceso Finger Joint - Línea 3



Fuente: Área de impresión PCP – ARES PERU

4.4.4. Corte Múltiple

Las tablas son cortadas de manera transversal de modo que se obtienen 2 mitades a lo largo de la madera. Se requieren 2 personas.

4.4.5. Moldurado

En este proceso se hace el moldurado de la madera a la forma deseada (marcos, bastidores, cabezales de puerta, junquillos, etc.). Son necesarias 2 personas.

FIGURA 11

Proceso Moldurado - Línea 3



Fuente: Área de impresión PCP – ARES PERU

4.4.6. Empastado

Las molduras son recubiertas con una pasta especial, de esta manera quedan listas para el proceso de embolsado.

4.4.7. Recubridora

Las molduras son recubiertas con láminas pet texturadas. Estos acabados son exclusivamente para pedidos de obras. En la tabla 3 se puede apreciar el resumen de lo expuesto líneas arriba.

TABLA 3

Cantidad de trabajadores por proceso - Línea 3

PROCESO	TIPO PRODUCTO SALIDA	CANTIDAD DE OPERARIOS
CEPILLADO	Madera cepillada	**2**
OPTICUT	Madera clasificada	**4**
FINGER JOINT	Blank	**5**
CORTE MÚLTIPLE	Blank	**2**
MOLDURADO	Producto	**2**
RECUBRIDORA	Marco recubierto	**4**
EMPASTADO	Marco empastado	**3**

Fuente: Elaboración propia

4.5. Oportunidades de mejora en el proceso

El proceso de Finger Joint es uno de los más importantes de la planta puesto que aquí se preparan los blanks necesarios con las dimensiones necesarias en largo y ancho para la fabricación de insumos y productos finales. El analista de planificación y control de la producción con soporte del supervisor de producción se encarga de la búsqueda de propuestas de mejora que den solución a posibles problemas, como por ejemplo una baja productividad. A continuación, se describirán problemas comunes y con gran potencial de candidatos para ser solucionados con la ayuda de herramientas lean.

4.5.1. Paradas de línea

Las paradas diarias de proceso difieren en tiempo entre proceso y proceso, por ejemplo, el proceso de cepillado es el que menor tiempo de parada diaria tiene con un promedio de 12 minutos por cambio de formato, esto equivale a 5 horas al mes. Caso contrario ocurre con el proceso de Finger Joint presentado el tiempo de parada promedio diario más prolongado con 70 minutos. El promedio de paradas diarias en los procesos de Opticut, corte múltiple, moldurado, recubridora y empastado son 26, 26, 70, 40, 45 minutos al día respectivamente. Adicionalmente en las 3 líneas de producción hay un tiempo destinado al estiramiento y ejercicios ergonómicos (Pausas activas) distribuidos en 2 turnos de 5 minutos cada uno haciendo un total de 10 minutos diarios. Estos datos pueden visualizarse en la tabla 4, donde se detallan las comparativas entre los procesos.

TABLA 4

Tiempos de parada - Línea 3

Tiempo de paradas por mes (horas promedio)				
PROCESO	**CAMBIO DE FORMATO**	**EJERCICIOS ERGONÓMICOS**	**TOTAL**	**%**
Cepillado	5	4.17	9.17	**6%**
Opticut	10.83	4.17	15	**10%**
Finger Joint	**29.17**	4.17	**33.34**	**22%**
Corte Múltiple	10.83	4.17	15	**10%**
Moldurado	29.17	4.17	33.34	**22%**
Recubridora	16.67	4.17	20.84	**14%**
Empastado	18.75	4.17	22.92	**16%**
			149.61	**100%**

Fuente: Elaboración propia con información de la empresa

4.5.2. Horas-hombre desperdiciadas

Tener el dato de tiempos de parada por proceso es importante y nos brinda un horizonte para la aplicación de cualquier mejora, no obstante, las horas hombre empleadas es el dato clave que muestra la verdadera magnitud del desperdicio, pues en cada proceso operan diferentes cantidades de operarios, esto por la complejidad de maniobra y tamaño de cada máquina.

Para el proceso de Finger Joint y demás procesos se calcularon las horas hombre desperdiciadas (ver tabla 5), y se hace más claro aún que el proceso de Finger Joint es el que más horas hombre desperdiciadas tiene.

TABLA 5

Horas-hombre desperdiciadas

PROCESO	TOTAL HORAS PARADAS AL MES	# PERSONAS PARADAS	HORAS HOMBRE DESPERDICIADAS	%
Cepillado	9.17	2	18.34	**4%**
Opticut	15	4	60	**12%**
Finger Joint	**33.34**	5	**166.7**	**34%**
Corte Múltiple	15	2	30	**6%**
Moldurado	33.34	2	66.68	**14%**
Recubridora	20.84	4	83.36	**17%**
Empastado	22.92	3	68.76	**13%**
			493.84	**100%**

Fuente: Elaboración propia con información de la empresa

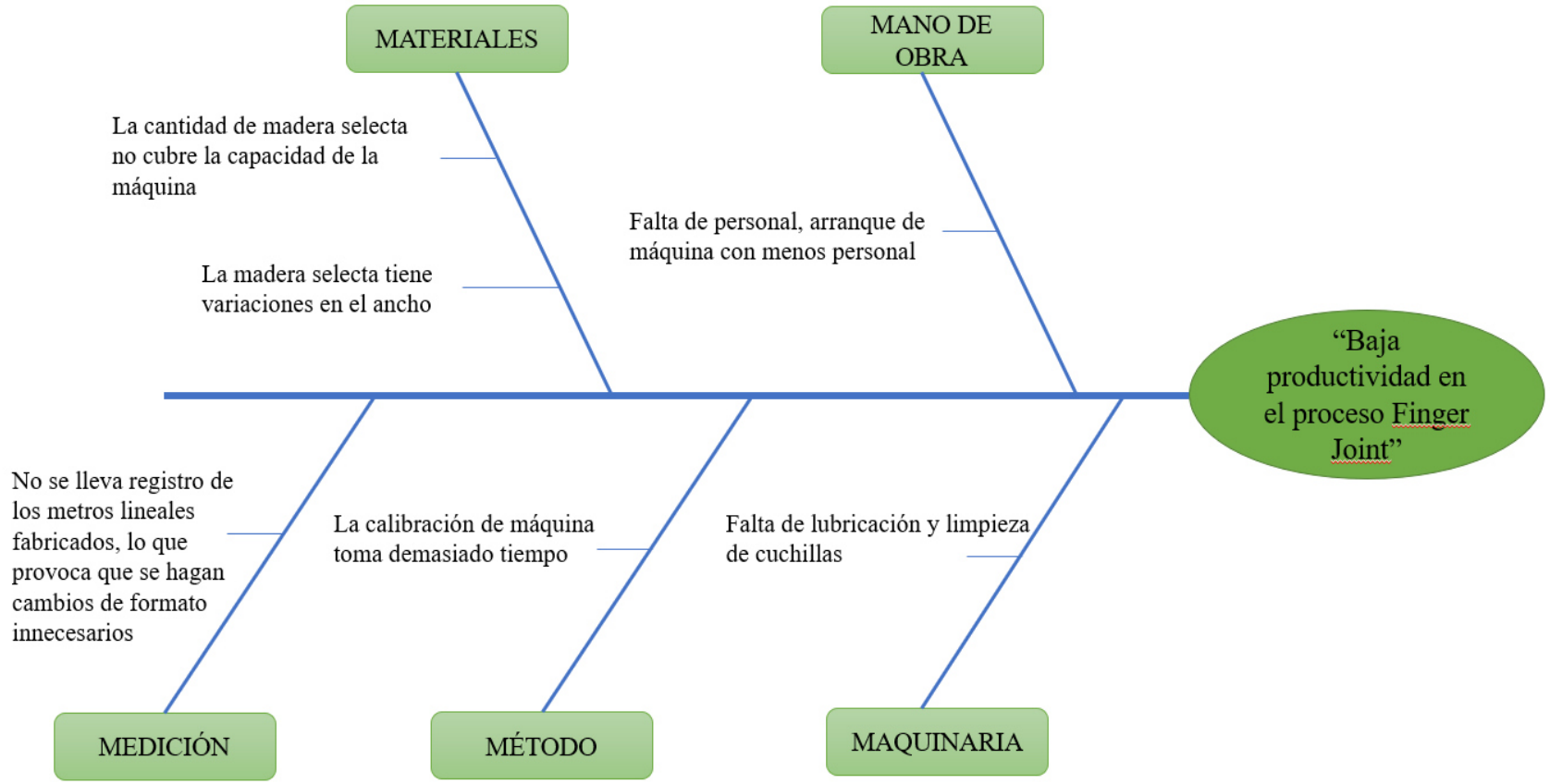
4.6. Caso de estudio

Debido a la gran cantidad de horas hombres desperdiciadas además de ser el proceso clave en la producción de la planta el presente estudio se enfocará en el proceso Finger Joint. A continuación, se procederá a aplicar las 5M para ver la problemática.

4.6.1. Diagrama de Ishikawa

FIGURA 12

Diagrama de Ishikawa - Baja productividad



Fuente: Elaboración propia con información de la empresa

TABLA 6

Programa de Finger Joint

PROGRAMA DE FINGER JOINT

FECHA:				**30/03/2025**				
Sec.	Hora Ini.	Hora Fin	Nro. Pedido	Código	Descripción	UM	Cant.	#Personas
1	7:30	10:00	OP 16557	3140884	Blank clear 150x2120	Mt.	2200	5
2	10:00	12:30	OP 16559	3140924	Blank clear 150x1450	Mt.	2200	5
3	13:30	16:00	OP 16562	3140754	Blank clear 150x1650	Mt.	2200	5
4	16:00	17:30	OP 16563	3140784	Blank clear 150x1850	Mt.	600	5

Fuente: Área de impresión PCP

5. CAPÍTULO V: METODOLOGÍA

5.1. Línea de investigación

La línea de investigación del presente estudio es la calidad, mejora y optimización de la producción puesto que se enfoca en mejorar el tiempo que se pierde en la calibración de la máquina KTCC, por ende, se incrementaría el tiempo efectivo de trabajo.

5.2. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es aplicada ya que se usa la metodología SMED para dar solución a la problemática presente en la línea 3, específicamente en el proceso de Finger Joint que es el cuello de botella de la línea.

Según Baena (2017), la investigación aplicada es aquella que recopila información teórica existente para la resolución de un problema concreto, es decir, se apoya de la información de muchas ciencias y conocimientos teóricos para la resolución de problemas (p.18).

El diseño del estudio es cuasiexperimental, nivel explicativo y enfoque cuantitativo.

Hernández (2014) menciona, un estudio es explicativo porque va más allá de la representación de nociones o fenómenos y de establecer relaciones entre conceptos; es decir, se basa en expresar el porqué del fenómeno y en qué contextos se muestran o porqué se relacionan más de una variable de estudio (p.95). En los diseños cuasiexperimentales, los sujetos no se establecen en los grupos al azar ni se equilibran, sino que los grupos ya están establecidos antes del experimento, a estos se les conoce como grupos intactos ya que integran parte del experimento (p.151). Para el caso de estudio se operacionalizará la variable independiente Tiempo de cambio de formato a fin de medir el impacto con las variables dependientes

Secuencia de actividades y Asignación de actividades al personal.

5.3. Población y muestra

La población que se tomará en cuenta para el análisis son los tiempos de cambio de formato para el proceso de Finger Joint. La muestra seleccionada son los tiempos de cambio de formato de los últimos tres meses.

5.4. Técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.

5.4.1. Técnicas

Las técnicas a utilizar son la toma de tiempos y entrevista. La toma de tiempos permite medir el tiempo de cambio de formato, generando así, el análisis de posibles mejoras en el proceso diferenciando entre las actividades que generan valor de las que no.

La entrevista permite conocer la realidad actual del proceso desde el punto de vista de los operarios, teniendo la perspectiva del personal que pertenece al proceso se puede identificar con precisión cuáles son los inconvenientes que generan demoras y, de este modo, proponer posibles mejoras en este proyecto.

5.4.2. Instrumentos

- Hojas de recolección de datos
- Cronómetro
- Hojas de entrevista
- Microsoft Excel

6. CAPÍTULO VI: RESULTADOS

6.1. Presentación de resultados

6.1.1. Etapa 1: Estudio preliminar del proceso seleccionado

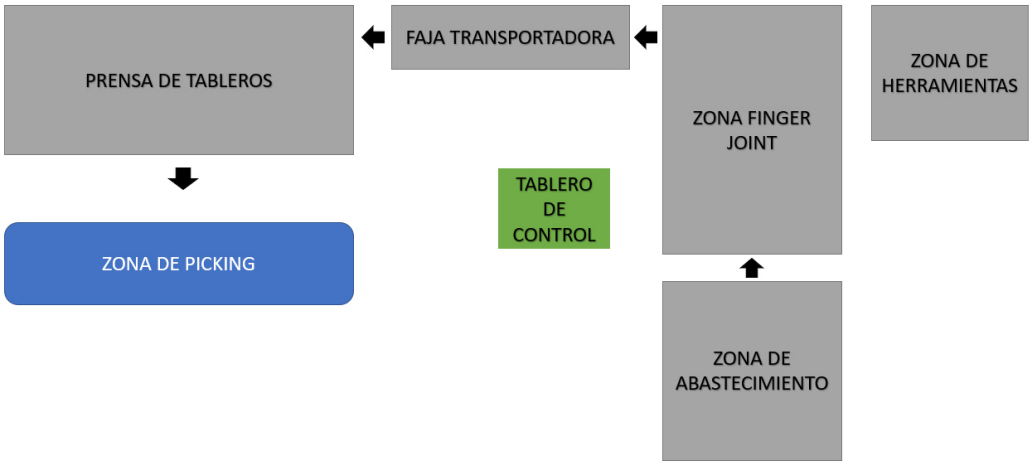
6.1.1.1. Layout de planta

Se realizó el layout del proceso para identificar las zonas, importante para verificar si es posible la reducción de las actividades de traslado en el proceso. Las zonas identificadas son:

- Zona de abastecimiento
- Zona Finger Joint
- Zona de herramientas
- Faja transportadora
- Prensa de tableros
- Zona de picking

FIGURA 13

Layout máquina KTCC



Fuente: Elaboración propia

6.1.1.2. Secuencia de actividades

Culminado el reconocimiento e identificación del lugar, se pasó a detallar la secuencia de actividades utilizando herramientas como el check list y estudio de tiempos. Cabe resaltar que todas las actividades son realizadas por un solo operador de máquina. De esta manera, se muestra en un cuadro resumen las actividades realizadas y el tiempo tomado al efectuar un cambio de formato (Tabla 7).

TABLA 7

Actividades del operador de máquina

Secuencia	Actividades – Operador de máquina	Tiempo
1	Verificar en el tablero de control que la máquina no se encuentre energizada.	00:00:25
2	Verificar que los carros transportadores de la Zona Finger Joint no tengan material alguno y se encuentren en punto cero.	00:00:25
3	Ingresar parámetros estándar para el tipo de madera a utilizar teniendo en cuenta el ancho de la madera y la calidad de la misma.	00:01:00
4	Traslado a zona de herramientas para traer las llaves punta y Allen necesarias para la calibración manual de partes.	00:01:00
5	Calibración manual en zona de faja	00:05:30

	transportadora. Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho de la faja al ancho de la madera a procesar.	
6	Prueba la fluidez en la caída de maderas a la faja, de ser necesario se realizan ajustes adicionales.	00:00:30
7	Desconectar las mangueras de aire en la zona de prensado.	00:00:30
8	Calibración manual del contador en cilindro.	00:01:30
9	Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho del espacio para el empuje automático de tablas.	00:04:00
10	Se verifica la calibración para que la madera no se atasque en la prensa.	00:00:30
11	Se conectan las mangueras de aire.	00:00:20
12	Se retiran pernos y tuercas para calibrar los discos de corte de acuerdo a las medidas solicitadas en el programa de producción.	00:05:30
13	Verifica con pruebas de ensayo la exactitud de la distancia entre disco y disco. Se busca que el blank generado tenga la medida correcta en el largo.	00:01:30
14	Verifica el correcto funcionamiento de ciclo de la máquina de inicio a fin (abastecimiento de carros, punto 0, caída de maderas en faja, contador en	00:01:00

	cilindro, empuje automático de maderas, prensa de tablas).	
	Tiempo total	**00:23:40**

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó líneas arriba un solo operador se encarga de toda la calibración saltando de una zona a otra, esto porque solo él llevo la capacitación sobre el funcionamiento de la máquina y los restantes del grupo son ayudantes. Pero es claramente factible realizar actividades en paralelo si otro supiera realizar las calibraciones en las zonas.

6.1.2. Etapa 2: Diferenciar actividades internas y externas

Se procedió a separar las actividades en internas y externas haciendo uso del check list y entendiendo la naturaleza e importancia de cada actividad. En la siguiente tabla se muestra la clasificación de lo mencionado.

TABLA 8

Clasificación de actividades del Operador de máquina

Secuencia	Actividades – Operador de máquina	Act. I.	Act. E.
1	Verificar en el tablero de control que la máquina no se encuentre energizada.	**X**	
2	Verificar que los carros transportadores de la Zona Finger Joint no tengan material alguno y se	**X**	

	encuentren en punto cero.		
3	Ingresar parámetros estándar para el tipo de madera a utilizar teniendo en cuenta el ancho de la madera y la calidad de la misma.	**X**	
4	Traslado a zona de herramientas para traer las llaves punta y Allen necesarias para la calibración manual de partes.	**X**	
5	Calibración manual en zona de faja transportadora. Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho de la faja al ancho de la madera a procesar.	**X**	
6	Prueba la fluidez en la caída de maderas a la faja, de ser necesario se realizan ajustes adicionales.	**X**	
7	Desconectar las mangueras de aire en la zona de prensado.	**X**	
8	Calibración manual del contador en cilindro.	**X**	
9	Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho del espacio para el empuje automático de tablas.	**X**	
10	Se verifica la calibración para que la madera no se atasque en la prensa.	**X**	
11	Se conectan las mangueras de aire.	**X**	
12	Se retiran pernos y tuercas para calibrar los discos de corte de acuerdo a las medidas	**X**	

	solicitadas en el programa de producción.		
13	Verifica con pruebas de ensayo la exactitud de la distancia entre disco y disco. Se busca que el blank generado tenga la medida correcta en el largo.	**X**	
14	Verifica el correcto funcionamiento de ciclo de la máquina de inicio a fin (abastecimiento de carros, punto 0, caída de maderas en faja, contador en cilindro, empuje automático de maderas, prensa de tablas).	**X**	

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Etapa 3: Convertir actividades internas en externas

El análisis e investigación se hizo de la mano del operador de máquina y también con intervención del supervisor de producción. Las entrevistas realizadas a los involucrados con el proceso dieron como resultado la selección de actividades con potencial para ser convertidas en externas. La siguiente tabla detalla dichas actividades.

TABLA 9

Actividades a convertir del Operador de máquina

Secuencia	Actividades – Operador de máquina	Sugerencia
4	Traslado a zona de herramientas para traer las llaves punta y Allen necesarias para la calibración manual	***Convertir***

	de partes.	
6	Prueba la fluidez en la caída de maderas a la faja, de ser necesario se realizan ajustes adicionales.	***Convertir***
10	Se verifica la calibración para que la madera no se atasque en la prensa.	***Convertir***
13	Verifica con pruebas de ensayo la exactitud de la distancia entre disco y disco. Se busca que el blank generado tenga la medida correcta en el largo.	***Convertir***

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detalla la forma de transformar a externas las actividades señaladas:

- La actividad N°4 puede realizarse antes del cambio de formato. Mientras se está fabricando el lote precedente el operador puede ir por las llaves Allen y punta. Debe estar muy atento con el programa de producción de modo que sabe en qué momento estará por finalizar el lote y se procederá con un cambio de formato. Adicionalmente se sugiere movilizar la zona de herramientas entre la prensa de tableros y el tablero de control a fin de tener respuestas inmediatas ante cualquier eventualidad. Aplicar 5s también ayudará en ello.
- Para la actividad N°6 puede soldarse una lámina de aluminio cerca al lado móvil de la faja transportadora que contenga marcadores para los diferentes anchos de madera con los que se trabaja. De manera que no hay forma que la faja este mal calibrada pues se habría hecho un poka yoke por ende no habría necesidad de

revisar o hacer ajustes adicionales.

- En la actividad N°10 similar a la solución para la actividad N°6 se puede hacer marcas sobre la base de metal detallando el ancho de la madera que ingresará, nuevamente un poka yoke para que no se tenga problemas con la validación de la calibración.
- Para la actividad N°13 también se utilizará un poka yoke en la salida de la prensa de tableros. Se harán marcas en un alero de metal presente en la prensa de modo que al hacer el cambio de formato a la medida deseada no haya riesgo de desfase.

De esta manera, al término de esta etapa se logró convertir actividades internas en externas el cuadro con el detalle se muestra a continuación.

TABLA 10

Clasificación de actividades del Operador de máquina luego de la etapa 3

Secuencia	Actividades – Operador de máquina	Act. I.	Act. E.
1	Verificar en el tablero de control que la máquina no se encuentre energizada.	**X**	
2	Verificar que los carros transportadores de la Zona Finger Joint no tengan material alguno y se encuentren en punto cero.	**X**	
3	Ingresar parámetros estándar para el tipo de madera a utilizar teniendo en cuenta el ancho de la madera y la calidad de la misma.	**X**	

4	**Traslado a zona de herramientas para traer las llaves punta y Allen necesarias para la calibración manual de partes.**		**X**
5	Calibración manual en zona de faja transportadora. Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho de la faja al ancho de la madera a procesar.	**X**	
6	**Prueba la fluidez en la caída de maderas a la faja, de ser necesario se realizan ajustes adicionales.**		**X**
7	Desconectar las mangueras de aire en la zona de prensado.	**X**	
8	Calibración manual del contador en cilindro.	**X**	
9	Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho del espacio para el empuje automático de tablas.	**X**	
10	**Se verifica la calibración para que la madera no se atasque en la prensa.**		**X**
11	Se conectan las mangueras de aire.	**X**	
12	Se retiran pernos y tuercas para calibrar los discos de corte de acuerdo a las medidas solicitadas en el programa de producción.	**X**	
13	**Verifica con pruebas de ensayo la exactitud de la distancia entre disco y disco. Se busca que el blank generado tenga la medida correcta en el largo.**		**X**

14	Verifica el correcto funcionamiento de ciclo de la máquina de inicio a fin (abastecimiento de carros, punto 0, caída de maderas en faja, contador en cilindro, empuje automático de maderas, prensa de tablas).	**X**	

Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Etapa 4: Perfeccionamiento de actividades del proceso

En la cuarta y última etapa se tiene como objetivo reducir lo más que se pueda el tiempo empleado en las actividades que han quedado como internas. Luego de la revisión exhaustiva del proceso y de las entrevistas con el personal involucrado se muestra en la siguiente tabla las actividades seleccionadas con mayor potencial a ser perfeccionadas.

TABLA 11

Actividades internas a perfeccionar

Secuencia	Actividades – Operador de máquina	Tiempo	Sugerencia
2	Verificar que los carros transportadores de la Zona Finger Joint no tengan material alguno y se encuentren en punto cero.	00:00:25	**Perfeccionar actividad**
5	Calibración manual en zona de faja transportadora. Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho de la faja al ancho de la madera a procesar.	00:05:30	**Perfeccionar actividad**

7	Desconectar las mangueras de aire en la zona de prensado.	00:00:30	**Perfeccionar actividad**
9	Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho del espacio para el empuje automático de tablas.	00:04:00	**Perfeccionar actividad**
11	Se conectan las mangueras de aire.	00:00:20	**Perfeccionar actividad**
12	Se retiran pernos y tuercas para calibrar los discos de corte de acuerdo a las medidas solicitadas en el programa de producción.	00:05:30	**Perfeccionar actividad**

Fuente: Elaboración propia

Se pasa a detallar la forma en cómo puede reducirse el tiempo en cada actividad:

- Para la actividad N°2 es necesario dar una inducción previa a los abastecedores de material de modo que cada uno se distribuya en el trayecto de cada carro. No se requiere de conocimientos de ingeniería para verificar el punto 0 en cada carro. El operador de máquina puede realizar dicha inducción y de esta manera evitaría realizar el trayecto de ir carro por carro.
- En la actividad N°5 se reemplazarán las tuercas tradicionales con los que cuenta la máquina por tuercas mariposa o palomilla (ver figura 14), éstas tuercas tienen muchas ventajas como por ejemplo: fáciles de ajustar manualmente ya que no requieren de herramientas adicionales; resistentes a la corrosión pues están hechas

de acero inoxidable; idóneas para espacios reducidos como es el caso del espacio de calibración en la máquina KTCC y también porque se montan y desmontan con rapidez debido a su diseño ergonómico.

FIGURA 14

Tuerca mariposa



Fuente: Elaboración propia

- En la actividad N°7 los ayudantes de la prensa deben ser capacitados para la manipulación de las mangueras de aire y para que ambos manipulen las mangueras de forma paralela se cambiaran las abrazaderas comunes con las que cuenta la máquina por abrazaderas con bisagra que son de fácil instalación,

versátiles y mantienen una tensión segura, incluso después de un uso prolongado. De esta manera evitamos comprar llaves adicionales y agilizamos la duración de la actividad.

FIGURA 15

Abrazadera con bisagra



Fuente: Elaboración propia

- Para la actividad N°9 como en la actividad N°2 el operador de máquina debe realizar una inducción y escoger un segundo al mando de modo que sea un respaldo para cuando el falte o se requiera realizar actividades en paralelo. Entonces, las actividades N°9 y N°12 se realizarán en paralelo donde el segundo

al mando realizará la actividad N°9 por requerir menos conocimientos en la manipulación de la máquina y el operador principal realizará en paralelo la actividad N°12. Para la reducción del tiempo en ambas actividades se hará uso nuevamente de las tuercas mariposa. Nótese que la actividad N°9 inicialmente ya toma menos tiempo que la actividad N°12 entonces el nuevo tiempo de la actividad N°9 será "absorbido" por el nuevo tiempo de la actividad N°12. Además de ello en la actividad N°12 para hacer las calibraciones en lo que respecta al largo de los blanks se utiliza un tope de acero diferente para cada ancho de madera, lo que se cambiará es estandarizar las medidas de un tope maestro que servirá para cualquier ancho de madera. De esta manera se garantiza una reducción considerable en el tiempo de duración de esta actividad.

FIGURA 16

Tope metálico prensa de Finger Joint



Fuente: Elaboración propia

- Para la actividad N°11 ya que en la actividad N°7 se utilizarán las abrazaderas con bisagra se garantiza una reducción en el tiempo de montaje.

Finalmente, al término de aplicar las técnicas de perfección de actividades, se detallan las actividades internas en la tabla 12.

TABLA 12

Actividades del Operador de máquina luego del perfeccionamiento

Secuencia	Actividades – Operador de máquina	Tiempo
1	Verificar en el tablero de control que la máquina no se encuentre energizada.	00:00:25
2	**Verificar que los carros transportadores de la Zona Finger Joint no tengan material alguno y se encuentren en punto cero.**	**00:00:10**
3	Ingresar parámetros estándar para el tipo de madera a utilizar teniendo en cuenta el ancho de la madera y la calidad de la misma.	00:01:00
5	**Calibración manual en zona de faja transportadora. Se retiran pernos y tuercas para adecuar el ancho de la faja al ancho de la madera a procesar.**	**00:03:30**
7	**Desconectar las mangueras de aire en la zona**	**00:00:10**

	de prensado.	
8	Calibración manual del contador en cilindro.	00:01:30
11	**Se conectan las mangueras de aire.**	**00:00:10**
12	**Se retiran pernos y tuercas para calibrar los discos de corte de acuerdo a las medidas solicitadas en el programa de producción.**	**00:03:49**
14	Verifica el correcto funcionamiento de ciclo de la máquina de inicio a fin (abastecimiento de carros, punto 0, caída de maderas en faja, contador en cilindro, empuje automático de maderas, prensa de tablas).	00:01:00
	Tiempo total	**00:10:44**

Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Del punto anterior se obtuvo que el nuevo tiempo mejorado luego de aplicar la metodología SMED es de 10.74 minutos, lo que significa un ahorro de 12.93 minutos en cada cambio de formato realizado tal y como se muestra en la tabla 13.

TABLA 13

Resumen del nuevo tiempo de cambio de formato

Descripción	**Cantidad**
Tiempo de cambio de formato inicial	23.67 minutos
Nuevo tiempo de cambio de formato luego de aplicar SMED	10.74 minutos
Reducción de tiempo	**12.93 minutos**

Fuente: Elaboración propia

Esta reducción de tiempo se puede traducir como una producción adicional de unidades. Para poder visualizar la cantidad de unidades adicionales fabricadas primero se observará un cuadro que muestra la producción mensual de metros lineales realizados en los procesos de la línea 3 desde julio del 2024 hasta marzo del 2025.

TABLA 14

Producción histórica mensual por proceso (metros lineales)

Proceso	**JUL-2024**	**AGO-2024**	**SET-2024**	**OCT-2024**	**NOV-2024**	**DIC-2024**	**ENE-2025**	**FEB-2025**	**MAR-2025**
Cepillado	166248	159312	167304	149448	163296	152088	164760	158712	167904
Opticut	139416	131208	133560	132816	141000	133392	133776	132840	131376
Finger Joint	**112368**	**96576**	**94632**	**112344**	**113064**	**111792**	**91560**	**104496**	**117000**
Corte Múltiple	136296	132456	133680	132096	135960	133632	135480	132936	141168
Moldurado	56640	54408	57072	61752	59352	72624	60936	59496	55608
Recubridora	94440	94728	96648	93096	91776	101976	94968	92352	103128

Empastado	109704	110040	109824	117600	117672	106872	101568	112560	116040

Fuente: Elaboración propia con información del área de PCP

Con estos datos se obtuvo información relevante como el promedio mensual en metros lineales de cada proceso:

TABLA 15

Producción mensual promedio por proceso

Proceso	***Producción mensual promedio (metros lineales)***
Cepillado	***161008***
Opticut	***134376***
Finger Joint	***105981.33***
Corte Múltiple	***134856***
Moldurado	***59765.33***
Recubridora	***95901.33***
Empastado	***111320***

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de las tablas 14 y 15 se procedió a mostrar las unidades adicionales producidas y también el ahorro o ganancia posible por año. Se debe tener en cuenta que en el proceso Finger Joint se trabaja con lotes de 2000 metros lineales, esto pues las especificaciones en el largo y ancho varían mucho entre pedido y pedido (make to order) y como se debe cumplir

con las fechas se estableció realizar calibraciones cada 2000 metros lo que significa que en un turno se realizan hasta 4 lotes diferentes, es decir, 3 cambios de formato por turno.

Se procedió a calcular la cantidad de lotes producidos por mes, esto resulta de la división entre el promedio de unidades producidas por mes y el tamaño estándar del lote definido por la empresa lo que da como resultado que se manufacturan 52.99 lotes mensuales en promedio.

Luego se calculó las unidades adicionales por lote tomando como base que para el inicio de producción de cada lote se debe realizar un cambio de formato, así pues, las unidades adicionales resultan de multiplicar la reducción del tiempo por lote en horas por la productividad del proceso dando como resultado un total de 172.4 metros lineales.

Para finalizar se multiplicó las unidades adicionales por la cantidad promedio de lotes por mes, después por los 12 meses del año y por la ganancia unitaria del metro lineal de un marco que es el producto representativo con lo que se obtuvo S/ 134808.25 de ahorro anual.

TABLA 16

Cálculo de ahorro anual

Datos Productivos	Cantidad	Unidad de medida
Promedio producción mensual	***105981.33***	**Metros lineales**
Tamaño de lote	2000	Metros lineales
Cantidad de lotes por mes	**52.99**	**lotes**
Reducción de tiempo (ahorro)	12.93	minutos
Reducción de tiempo (ahorro)	**0.215**	**horas**
Productividad	800	Metros lineales/ hora
Unidades adicionales por lote	**172.4**	**Metros lineales**

Unidades adicionales por mes	9135.48	Metros lineales
Unidades adicionales por año	109625.76	Metros lineales
Ganancia por unidad de marco	0.60	Nuevos soles / ml
Ahorro por año	**65775.46**	**Nuevos soles**

Fuente: Elaboración propia

Establecido el posible ahorro anual, se analizó la relación costo beneficio del proyecto. Para una correcta toma de decisiones se calcularon los valores TIR y VAN, así pues, se calculó el flujo de caja. Para ello se calcularon los costos de capacitación y de implementación.

En lo respectivo a los costos de capacitación se tomó como base los salarios del personal involucrado en el proceso de Finger Joint. Estos son: Operarios de producción, técnicos de mantenimiento, supervisores de producción y jefe de producción. Se muestra el detalle de lo mencionado en la tabla 17.

TABLA 17

Costo Horas-hombre por puesto de trabajo

Puesto de trabajo	Sueldo	Días / mes	Horas /día	Costo Hr-H
Operario de producción	S/ 1300	26	8	**S/ 6.25**
Técnico de mantenimiento	S/ 2200	26	8	**S/ 10.58**
Supervisor de producción	S/ 2700	26	8	**S/ 12.98**
Jefe de Producción	S/ 4500	25	8	**S/ 22.50**

Fuente: Elaboración propia

Para la etapa de implementación se consideró una capacitación inicial con una duración de dos horas para todo el personal involucrado con el proceso Finger Joint con el objetivo de dar los alcances necesarios y profundizar en la importancia de reducir los tiempos de cambio de formato haciendo uso de la metodología SMED. Esta capacitación se hará de forma semestral.

Con respecto a los materiales necesarios para la ejecución del proyecto, como se mencionó líneas arriba fueron las tuercas mariposa y abrazaderas con bisagra, ambos elementos pensados en reducir tiempos de ajuste.

Otro punto en consideración fue la supervisión y control por parte del técnico de mantenimiento y el supervisor de producción. Deben dedicarle 1 hora diaria de monitoreo a la ejecución del proceso con la nueva propuesta a fin de garantizar errores nulos o mínimos.

Se realizaron reuniones semanales de 1 hora para medir el avance del proyecto, así como también el costo de elaborar una nueva versión en las actividades de cambio de formato del proceso. Estas reuniones son costos que solo serán aplicables para el primer año de la ejecución del proyecto.

Todo lo mencionado se detalla en la tabla 18:

TABLA 18

Costos de implementación

Tipo Costo	***Descripción***	***Cant.***	***Frecuencia***	***Factor***	***CU***	***Total***
Capacitación (4 horas)	*Capacitador SMED*	*1*	*Semestral*	*2*	*S/ 500*	*S/ 1000*
	Operario de producción	*10*	*Semestral*	*2*	*S/ 25*	*S/ 500*
	Técnico de mantenimiento	*2*	*Semestral*	*2*	*S/ 42.32*	*S/ 169.28*
	Supervisor de producción	*2*	*Semestral*	*2*	*S/ 51.92*	*S/ 207.68*
	Jefe de producción	*1*	*Semestral*	*2*	*S/ 90*	*S/ 180*
Materiales y/o utensilios	*Tuerca mariposa*	*5*	*Trimestral*	*4*	*S/ 11*	*S/ 220*
	Abrazadera con bisagra	*2*	*Semestral*	*2*	*S/ 32*	*S/ 128*
Monitoreo en la ejecución del proyecto SMED (1 hora)	*Supervisor de producción*	*1*	*Diario*	*300*	*S/ 12.98*	*S/ 3894*
	Técnico de mantenimiento	*1*	*Diario*	*300*	*S/ 10.58*	*S/ 3174*
Reunión semanal de resultados (2 horas) *sólo el primer año	*Supervisor de producción*	*2*	*Semanal*	*52*	*S/ 25.96*	*S/ 2699.84*
	Técnico de mantenimiento	*2*	*Semanal*	*52*	*S/ 21.16*	*S/ 2200.64*
	Jefe de producción	*1*	*Semanal*	*52*	*S/ 45*	*S/ 2340*
Actualización de actividades de cambio de formato *sólo el primer año	*Nuevas versiones que incluyan los cambios realizados en actividades de cambios de formato*	*1*	*Anual*	*1*	*S/ 1250*	*S/ 1250*
Costo total de implementación						***S/ 17963.44***

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el flujo de caja en un horizonte de 4 años, se considera en los ingresos totales el ahorro anual calculado, en lo que respecta a los egresos consideramos el costo anual calculado en la tabla 18 para el año 0 y para los demás años se restan los costos de: "reunión semanal de resultados" y "Actualización de actividades de cambio de formato".

Se tomó como premisa una tasa de rendimiento del 20%, así se procedió a calcular los valores TIR y VAN que serán claves en la toma de decisiones para la ejecución del proyecto.

TABLA 19

Flujo de caja

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4
Ingresos					
Total Ingresos	**-**	**S/ 65775.46**	**S/ 65775.46**	**S/ 65775.46**	**S/ 65775.46**
Egresos					
Costos de implementación	S/ 17963.44	S/ 9472.96	S/ 9472.96	S/ 9472.96	S/ 9472.96
Total Egresos	**S/ 17963.44**	**S/ 9472.96**	**S/ 9472.96**	**S/ 9472.96**	**S/ 9472.96**
Flujo de Efectivo	**S/ - 17963.44**	**S/ 56302.5**	**S/ 56302.5**	**S/ 56302.5**	**S/ 56302.5**

Tasa de rendimiento (COK)	**20%**

VAN	**S/ 127788.79**	**Mayor que 0**
TIR	**312%**	**Mayor que COK**

Fuente: Elaboración propia

6.3. Análisis Inferencial

Para el análisis inferencial se analizó al grupo experimental, la muestra fue de 24 tiempos de cambio de formato antes del proyecto y 24 tiempos después de ejecutado el proyecto. Para la variable dependiente (Tiempo de cambio de formato) efectuó la prueba de normalidad a fin de validar si los datos son paramétricos o no paramétricos.

Se pueden presentar dos escenarios; si la muestra es menor o igual a 20 datos se utilizará Shapiro Wilk y si la muestra es mayor o igual a 20 datos se utilizará Kolmogorov Smirnov luego de ello para determinar el estadígrafo de contrastación de Hipótesis se utilizará T-Student para datos paramétricos y Wilcoxon para datos no paramétricos. Lo mencionado se resume en la tabla 20 presentada a continuación:

TABLA 20

Regla de decisión datos paramétricos y no paramétricos

ANÁLISIS DE DATOS PRE–TEST	ANÁLISIS DE DATOS POST-TEST	REGLA DE DECISIÓN	ESTADÍGRAFO
Paramétricos	Paramétricos	Paramétricos	**T STUDENT**
Paramétricos	No Paramétricos	No Paramétricos	**WILCOXON**
No Paramétricos	Paramétricos	No Paramétricos	**WILCOXON**
No Paramétricos	No Paramétricos	No Paramétricos	**WILCOXON**

Fuente: Elaboración propia

6.3.1. Contrastación de la hipótesis general

Se tiene:

H_a: La aplicación y ejecución de la técnica SMED reducirá el tiempo de cambio de formato, incrementando la productividad del proceso.

Se contrastó la hipótesis general nula:

H_0: La aplicación y ejecución de la técnica SMED no reducirá el tiempo de cambio de formato, incrementando la productividad del proceso.

Para contrastar la H_0 se definió el estadígrafo a utilizar por lo que primero se verificó la normalidad. Como se mencionó líneas arriba se tomaron 2 muestras de 24 tiempos pre y post test. Se analizaron la normalidad de ambas muestras, los datos se muestran a continuación:

TABLA 21

Test Kolmogorov-Smirnov datos antes del proyecto

i	Xi (Tiempos en minutos)	pi	Zi	P(Zi)	|P(Zi)-pi|	|P(Zi)-pi-1|
1	21.01	0.04166667	-1.63543768	0.05097866	0.009312	0.05097866
2	21.17	0.08333333	-1.47601065	0.06997052	0.01336282	0.02830385
3	21.49	0.125	-1.15203508	0.12465333	0.00034667	0.04131999
4	21.63	0.16666667	-1.02223368	0.15333516	0.01333151	0.02833516
5	21.69	0.20833333	-0.96046603	0.16841036	0.03992297	0.00174369
6	21.84	0.25	-0.80536929	0.2103033	0.0396967	0.00196997
7	21.97	0.29166667	-0.68232436	0.24751694	0.04414973	0.00248306
8	21.98	0.33333333	-0.67198185	0.25079763	0.08253571	0.04086904

9	22.08	0.375	-0.56863464	0.28480205	0.09019795	0.04853128
10	22.33	0.41666667	-0.32599421	0.37221437	0.0444523	0.00278563
11	22.36	0.45833333	-0.2924102	0.38498651	0.07334683	0.03168016
12	22.42	0.5	-0.23574033	0.40681709	0.09318291	0.05151625
13	22.56	0.54166667	-0.09372699	0.46266301	0.07900365	0.03733699
14	22.61	0.58333333	-0.04644376	0.48147828	**0.10185506**	0.06018839
15	22.86	0.625	0.20158586	0.57987975	0.04512025	0.00345358
16	23.05	0.66666667	0.383545	0.64934214	0.01732452	0.02434214
17	23.16	0.70833333	0.50001034	0.6914661	0.01686723	0.02479944
18	23.44	0.75	0.77085395	0.77960325	0.02960325	0.07126991
19	23.53	0.79166667	0.85969623	0.80502174	0.01335508	0.05502174
20	23.84	0.83333333	1.16604979	0.87820284	0.04486951	0.08653618
21	23.94	0.875	1.26637118	0.89730989	0.02230989	0.06397655
22	24.04	0.91666667	1.36826583	0.91438556	0.00228111	0.03938556
23	24.14	0.95833333	1.46305477	0.9282738	0.03005953	0.01160714
24	24.67	1	1.98937581	0.97667013	0.02332987	0.0183368

Fuente: Elaboración propia.

El valor Kolmogorov-Smirnov para la primera muestra de datos con un valor de media de 22.66 y una desviación estándar de 1.01118771 fue de 0.10185506 que es el máximo error detectado. Luego se procedió a calcular el valor Kolmogorov-Smirnov de tablas.

TABLA 22

Kolmogorov-Smirnov de tablas

α	0.1	0.05	0.01
cα	0.819	0.895	1.035
k(n)	5.06248501	5.06248501	5.06248501
KS(t)	0.16177826	0.17679065	0.20444505

Fuente: Elaboración propia

Se compararon los valores kolmogorov-smirnov, y se evidenció que el valor calculado es menor que el de tablas por ende los datos se ajustan a una distribución normal, es decir, son paramétricos. Se realizó el mismo procedimiento con la muestra post test.

TABLA 23

Test Kolmogorov-Smirnov datos después del proyecto

i	Xi (Tiempos en minutos)	pi	Zi	P(Zi)	|P(Zi)-pi|	|P(Zi)-pi-1|
1	10.01	0.04166667	-1.38370793	0.08322395	0.04155729	0.08322395
2	10.03	0.08333333	-1.32953008	0.09183657	0.00850324	0.05016991
3	10.05	0.125	-1.30231355	0.09640461	0.02859539	0.01307128
4	10.18	0.16666667	-1.05410942	0.14591641	0.02075026	0.02091641
5	10.21	0.20833333	-0.99876422	0.15895446	0.04937887	0.0077122
6	10.33	0.25	-0.77505849	0.21915255	0.03084745	0.01081922
7	10.37	0.29166667	-0.70803583	0.2394615	0.05220516	0.0105385
8	10.45	0.33333333	-0.54802942	0.29183585	0.04149748	0.00016919

9	10.46	0.375	-0.52985068	0.29810773	0.07689227	0.0352256
10	10.47	0.41666667	-0.51915258	0.30182717	**0.11483949**	0.07317283
11	10.60	0.45833333	-0.25966065	0.39756277	0.06077056	0.01910389
12	10.62	0.5	-0.22658967	0.41037141	0.08962859	0.04796192
13	10.67	0.54166667	-0.14349587	0.44294928	0.09871738	0.05705072
14	10.74	0.58333333	-0.00247263	0.49901356	0.08431977	0.0426531
15	10.90	0.625	0.29967191	0.61778629	0.00721371	0.03445295
16	10.95	0.66666667	0.38100218	0.64839918	0.01826748	0.02339918
17	10.99	0.70833333	0.45643491	0.67596137	0.03237197	0.0092947
18	11.05	0.75	0.57326501	0.71676736	0.03323264	0.00843403
19	11.11	0.79166667	0.68447176	0.75316134	0.03850533	0.00316134
20	11.13	0.83333333	0.73218916	0.76797344	0.06535989	0.02369323
21	11.30	0.875	1.04726973	0.8525124	0.0224876	0.01917907
22	11.63	0.91666667	1.66037577	0.95158056	0.03491389	0.07658056
23	11.77	0.95833333	1.92283411	0.97274956	0.01441622	0.05608289
24	11.82	1	2.02325648	0.97847664	0.02152336	0.02014331

Fuente: Elaboración propia.

El valor Kolmogorov-Smirnov para la segunda muestra de datos con un valor de media de 10.74 y una desviación estándar de 0.53271502 fue de 0.11483949 que es el máximo error detectado. Como el valor kolmogorov-smirnov de la segunda muestra también es menor al de tablas entonces se afirma que los datos siguen una distribución normal. Dicho esto, se observó que las muestras son paramétricas por consiguiente se utilizó la prueba T-Student para determinar la validez de la hipótesis nula.

TABLA 24

Valor P aplicando T-Student

Grupo	Xi	Grupo	Xi
Antes	21.01	Después	10.01
Antes	21.17	Después	10.03
Antes	21.49	Después	10.05
Antes	21.63	Después	10.18
Antes	21.69	Después	10.21
Antes	21.84	Después	10.33
Antes	21.97	Después	10.37
Antes	21.98	Después	10.45
Antes	22.08	Después	10.46
Antes	22.33	Después	10.47
Antes	22.36	Después	10.60
Antes	22.42	Después	10.62
Antes	22.56	Después	10.67
Antes	22.61	Después	10.74
Antes	22.86	Después	10.90
Antes	23.05	Después	10.95
Antes	23.16	Después	10.99
Antes	23.44	Después	11.05
Antes	23.53	Después	11.11
Antes	23.84	Después	11.13
Antes	23.94	Después	11.30
Antes	24.04	Después	11.63
Antes	24.14	Después	11.77
Antes	24.67	Después	11.82

P-VALOR
1.850051492781630E-33

Fuente: Elaboración propia

Como el valor P es menor que el valor crítico (0.05) se rechazó la hipótesis nula además se evidenció que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias (10.74 y 22.66).

Por ende, se concluyó que la aplicación del SMED reducirá el tiempo de cambio de formato, incrementando la productividad. Se rechaza la H_0 y se acepta la hipótesis general de investigación.

Para la hipótesis específica 1, Según Shingo (1993) la correcta aplicación de los principios del SMED puede incrementar la productividad hasta en un 50%, como se evidenció el tiempo de cambio de formato se redujo en un 53%. Por en ende, la hipótesis especifica 1 también se acepta.

7. CAPÍTULO VII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el presente trabajo se aplicó la metodología SMED, los resultados obtenidos se pueden visualizar en el punto anterior. Así pues, se argumenta lo siguiente:

Primera Discusión: Reducir el tiempo de cambio de formato de la máquina KTCC en el proceso de Finger Joint aplicando la herramienta SMED, se obtuvo una reducción del 56% en el tiempo de calibración ejecutando cambios que permitieron acelerar el proceso. Según Shingo (1993) la correcta aplicación de los principios del SMED puede incrementar la productividad hasta en un 50%.

De forma similar, Bustamante (2013) obtuvo una reducción del 49% de SETUP en la sección de Montaje-Metalmecánica al aplicar la metodología SMED cambiando las matrices en prensa formación de planchas. Este resultado concuerda con lo que se obtuvo ya que los supervisores de producción se limitan a seguir indicaciones en lugar de analizar a detalle los procesos que tienen a cargo.

Segunda Discusión: Evaluar el impacto económico en caso de ejecutar la propuesta buscando incrementar la utilidad de la empresa aplicando la herramienta SMED en el proceso de Finger Joint, se obtuvo un ahorro anual de S/ 65775.46, un VAN de S/ 127788.79 y un TIR de 312%. Según Jiménez (2020) los parámetros del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) pueden ayudar a estudiar la viabilidad de los proyectos a nivel económico.

De manera similar, Ortega (2009) logró reducir el tiempo de inactividad en el ensamblaje de matrices en un 50.23% logrando ahorrar S/ 60626.25. Este resultado concuerda con lo obtenido.

Tercera Discusión: Elaborar una propuesta de mejora que permita incrementar la productividad de la máquina KTCC del proceso de Finger Joint aplicando la metodología SMED, se hicieron los estudios y cambios correspondientes para reducir el tiempo de las actividades a realizar en un cambio de formato. Dado el caso se evidenció que la aplicación de la técnica SMED reducirá el tiempo de cambio de formato incrementando la productividad del proceso. Se obtuvo un resultado de 109625.76 metros lineales adicionales al año.

De forma semejante, Orihuela (2017) concluyó que la aplicación de la metodología SMED mejoró la productividad del proceso de estudio de 52.3 a 73%. Este resultado concuerda con lo obtenido en el presente estudio.

8. CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos, luego de aplicar la metodología SMED para incrementar la productividad del proceso Finger Joint de una fábrica de puertas y accesorios se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

- Se elabora la propuesta de mejora aplicando la metodología SMED reduciendo el tiempo de cambio de formato de 23.67 a 10.74 minutos, esto significa un ahorro de 12.93 minutos por lote lo que representa un ahorro de 137.03 horas al año incrementando de esta manera la productividad en el proceso.
- Se calcula que el proceso de Finger Joint tiene la mayor cantidad de horas hombre desperdiciadas: 166.7 horas hombre desperdiciadas mensualmente, lo que representa un 34% de todas las horas hombre desperdiciadas en la línea 3.
- Se reduce el tiempo de cambio de formato con pequeños cambios que logran obtener grandes resultados. Se debe invertir en materiales necesarios que no son costosos y en capacitación al personal para lograr un ahorro significativo anual.
- El ahorro anual representado en unidades monetarias asciende a S/ 65775.46.
- Se evalúa el impacto económico luego de aplicar la metodología SMED en el proceso estudiado dando como resultado un valor VAN de S/ 127788.79 y un TIR de 312%, estos datos evidencian que el proyecto es altamente rentable puesto que el valor VAN es positivo y el valor TIR es mayor que la tasa de rendimiento esperado (COK).

8.2. Recomendaciones

- El desarrollo de este proyecto demuestra que es posible aplicar la metodología SMED en otros procesos de la línea teniendo en cuenta las características propias de cada proceso. Se recomienda tomar como base el presente estudio.
- La alta gerencia debe profundizar en la importancia de la reducción de tiempos muertos en todos los procesos por tanto se recomienda capacitar semestralmente a todo el personal relacionado a la producción.
- La alta gerencia debe estar alineado a los procesos de mejora, ésta debe empoderar a los encargados de las áreas involucradas generando la integración de las mismas.
- Se debe recordar que los resultados de la aplicación de esta herramienta serán aprovechados al máximo en tanto el seguimiento y la supervisión de actividades sean constantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BUSTAMANTE, D.A. (2013) *Desarrollo de la herramienta SMED para la aplicación en el área de montaje-metalmecánica de la empresa Induglob S.A.* Tesis de pregrado. Cuenca, Ecuador: Universidad de, Azuay.
- ESPIN, F. (2013). *Técnica SMED: Reducción del tiempo de preparación.*
- ORIHUELA, V. (2017) *Aplicación de SMED en el proceso de cambio de estación de Elmer posterior para mejorar la productividad en la máquina PI-8 en la empresa Kimberly Clark, Perú Lima-2017.* Tesis de pregrado. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- ORTEGA, D. M. (2009). *Análisis del sistema de producción y aplicación de SMED en la línea de cubiertas de cocinas Mabe Ecuador*. Tesis de pregrado. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- PALACIOS, R. (2017) *Aplicación de la técnica SMED para mejorar la productividad del área de etiquetado de la empresa industrias alimentarias S.A.C.* Tesis de pregrado. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- SHINGO S. (1993) Una revolución en la producción: El sistema SMED. 3ra Ed. TGP Tecnología de Gerencia y Producción S.A.