



**PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE MEJORAS EN EL PROCESO DE
CAMBIO DE HERRAMIENTALES UTILIZANDO SMED EN LAS LÍNEAS
DE HACHAS Y ZAPAPICOS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR
METALMECÁNICO DE MANIZALES**

Tatiana Andrea Villanueva Mateus

Grupo de investigación:

Diseño mecánico y desarrollo industrial “Archytas”

Línea de investigación:

Optimización de procesos industriales y mantenimiento

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MANIZALES**

2020

**PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS DE MEJORAS EN EL PROCESO DE
CAMBIO DE HERRAMENTALES UTILIZANDO SMED EN LAS LÍNEAS DE
HACHAS Y ZAPAPICOS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO
DE MANIZALES**

Autor

TATIANA ANDREA VILLANUEVA MATEUS

Proyecto de grado para optar al título de Magister en Ingeniería

Directora:

Dra. Ing. Diana Yomali Ospina López

Codirector:

Dr. (c) Ing. Alex Mauricio Ovalle Castiblanco

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MANIZALES**

2020

AGRADECIMIENTOS

El autor de la actual investigación quiere expresar sus más profundos agradecimientos primeramente a Dios, quien le ha dado la fuerza y la sabiduría para culminar esta etapa universitaria de la mejor forma. Seguidamente, a sus seres queridos, Luz Magnolia Mateus Perdomo, Fredy Villanueva Rojas y Juan Pablo Díaz Díaz, quienes son su motivación y su gran apoyo.

Por otra parte, agradecimiento total a la empresa estudio de caso que le permitió desarrollar la investigación al interior de ella y crecer en el ámbito profesional; a los profesores de la Maestría en Ingeniería cohorte III de la Universidad Autónoma de Manizales, especialmente a los profesores Diana Yomali Ospina y Alex Mauricio Ovalle por su gran dedicación, direccionamiento y retroalimentación; además, agradecimiento a la universidad por brindarle el apoyo para ser una colaboradora y seguir enriqueciendo en el campo laboral. Infinitas gracias a ambas empresas por abrirle las puertas y permitirle que dicha investigación fuera una realidad.

RESUMEN

El proyecto de investigación tuvo por objeto determinar alternativas de mejoras en el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos según la metodología *SMED (Single Minute Exchange of Die)* en una empresa del sector metalmeccánico de la ciudad de Manizales, con el fin de disminuir los tiempos y movimientos. La investigación fue de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo. Se realizó el diagnóstico inicial del proceso para identificar brechas y analizar tiempos y movimientos empleando la técnica de mediciones con filmaciones, observaciones y cursograma analítico; además, se contó con el apoyo del estudio de tiempos y movimientos. Luego, se determinaron las actividades internas y externas del proceso en las líneas de hachas y zapapicos. Posteriormente, se plantearon mejoras del proceso en las líneas anteriormente enunciadas soportadas en un análisis de costos; las propuestas fueron: diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas, estandarizar las platinas, pintar las herramientas de apoyo, codificar las canecas de herramientas de apoyo y diseñar el instrumento *Industrial Table Car*. A modo de conclusión, los análisis realizados en el factor humano, maquinaria, proceso, área de trabajo y con las propuestas de mejoras del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos se buscó brindar a la empresa una herramienta que permitiera aumentar la productividad; así mismo, contribuir a la reducción de tiempos improductivos y en costos hasta en un 22 % en un cambio 6,1 h en promedio por cada propuesta y a la eliminación de operaciones que no agregan valor. Además, velar por un mayor control y estandarización en los procesos.

Palabras claves: SMED, estudio de tiempos, estudio de movimientos, herramientas, sector metalmeccánico.

ABSTRACT

The purpose of the research project was to determine alternatives for improvements in the process of changing tools in ax and zapapico lines according to the SMED (Single Minute Exchange of Die) methodology in a company in the metalworking sector of the city of Manizales, with the in order to decrease the times and movements. The research was descriptive with a quantitative approach. The initial diagnosis of the process was carried out to identify gaps and analyze times and movements using the technique of measurements with filming, observations and an analytical course; In addition, the study of times and movements was supported. Then, the internal and external activities of the process were determined in the ax and zapapico lines. Subsequently, improvements of the process were proposed in the aforementioned lines supported in a cost analysis; The proposals were: to design templates for the wear of the tooling, standardize the plates, paint the support tools, code the support tool boxes and design the Industrial Table Car instrument. In conclusion, the analyzes carried out on the human factor , machinery, process, work area and with the proposals for improvements in the tool change process in the ax and zapapico lines, it was sought to provide the company with a tool that would increase productivity; Likewise, contribute to the reduction of unproductive times and costs by up to 22% in a change of 6.1 hours on average for each proposal and the elimination of operations that do not add value. In addition, ensure greater control and standardization in the processes.

Keywords: Single Minute Exchange of Die, study of times, movement study, setup time reduction, industry sector.

GLOSARIO

Cuello de botella: Es una fase más lenta de un proceso productivo.

Herramental: Conocido también como troquel; es un molde de acero que sirve para darle forma a una pieza.

Puesta a punto: Es una operación cuya función es verificar que el primer producto del lote de producción cumpla con los requisitos mínimos de calidad.

Operaciones internas: Conocido también como operaciones en caliente; son actividades que se realizan cuando la máquina esta parada.

Operaciones externas: Conocido también como operaciones en frío; son actividades que se realizan cuando la máquina está en marcha.

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 14 |
| 2 | ANTECEDENTES..... | 16 |
| 2.1 | APLICACIÓN DEL SMED EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN | 18 |
| 2.2 | APLICACIÓN DEL SMED EN MÁQUINAS | 27 |
| 3 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 38 |
| 3.1 | DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 38 |
| 4 | JUSTIFICACIÓN..... | 45 |
| 5 | REFERENTES TEÓRICOS | 47 |
| 5.1 | SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE | 47 |
| 5.1.1 | Fases Del SMED | 48 |
| 5.2 | INGENIERÍA DE MÉTODOS..... | 52 |
| 5.2.1 | Estudio De Movimientos | 52 |
| 5.3 | ESTUDIO DE TIEMPOS | 56 |
| 5.3.1 | Etapas del Estudio de Tiempos..... | 56 |
| 6 | REFERENTES NORMATIVOS | 59 |
| 6.1 | DESCRIPCIÓN DE NORMAS PARA LOS HERRAMENTALES..... | 59 |
| 6.2 | DESCRIPCIÓN DE LA NORMA: NTC-ISO 9001: 2015..... | 60 |
| 7 | REFERENTES CONTEXTUALES | 62 |
| 7.1 | HERRAMENTALES..... | 62 |
| 7.1.1 | Tipos de Herramientales | 64 |
| 7.1.2 | Partes del Herramental..... | 65 |
| 7.1.3 | Descripción del Proceso de Cambio de Herramientales..... | 66 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 8 | OBJETIVOS..... | 68 |
| 8.1 | OBJETIVO GENERAL..... | 68 |
| 8.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 68 |
| 9 | METODOLOGÍA | 69 |
| 9.1 | ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO..... | 69 |
| 9.2 | ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS | 72 |
| 9.3 | UNIDAD DE TRABAJO Y ANÁLISIS | 73 |
| 9.4 | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 75 |
| 9.5 | PROCEDIMIENTOS..... | 77 |
| 10 | RESULTADOS | 86 |
| 10.1 | CARACTERIZACIÓN PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES | 86 |
| 10.1.1 | Operarios | 86 |
| 10.1.2 | Máquinas y Herramientas..... | 88 |
| 10.1.3 | El Proceso..... | 95 |
| 10.1.4 | Distribución del Puesto de Proceso | 112 |
| 10.2 | ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES..... | 119 |
| 10.2.1 | Estudio de Tiempos | 119 |
| 10.2.2 | Estudio De Movimientos | 123 |
| 10.3 | CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES INTERNAS Y EXTERNAS | 130 |
| 10.4 | PROPUESTAS DE MEJORAS SOPORTADAS EN UN ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES | 135 |
| 10.4.1 | Análisis De Alternativas..... | 139 |
| 10.4.2 | Análisis de Costos | 161 |
| 11 | DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 165 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 11.1 | CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES | 166 |
| 11.1.1 | Operarios | 166 |
| 11.1.2 | Máquinas y Herramientas | 167 |
| 11.1.3 | El Proceso | 167 |
| 11.2 | ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES | 171 |
| 11.2.1 | Estudio de Tiempos | 171 |
| 11.2.2 | Estudio de Movimientos | 171 |
| 11.3 | CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES INTERNAS Y EXTERNAS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES | 172 |
| 11.4 | ALTERNATIVAS DE MEJORAS SOPORTADAS EN UN ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES EN LAS LÍNEAS DE HACHAS Y ZAPAPICOS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO DE MANIZALES | 173 |
| 12 | CONCLUSIONES | 182 |
| 13 | RECOMENDACIONES | 187 |
| 13.1 | A LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO | 187 |
| 13.2 | A LAS EMPRESAS DEL SECTOR METALMECÁNICO | 188 |
| 13.3 | A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES | 188 |
| 14 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 190 |
| 15 | ANEXOS | 208 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Clasificación de referencias encontradas..... | 17 |
| Tabla 2. Revisión de antecedentes: Aplicación del SMED a líneas de producción | 19 |
| Tabla 3. Revisión de antecedentes: Aplicación del SMED a máquinas | 28 |
| Tabla 4. Variaciones de la metodología SMED | 49 |
| Tabla 5. Etapas de la metodología propuesta por Gil et al, 2012 | 50 |
| Tabla 6. Clasificación de los principios de los movimientos | 53 |
| Tabla 7. Clasificación de movimientos | 54 |
| Tabla 8. Etapas para realizar el estudio de tiempos..... | 56 |
| Tabla 9. Clasificación de normas técnicas para los herramientas..... | 59 |
| Tabla 10. Producción mundial de herramientas..... | 62 |
| Tabla 11. Clases de herramientas | 64 |
| Tabla 12. Descripción del proceso de cambio de herramientas..... | 67 |
| Tabla 13. Datos representativos de las líneas de producción | 74 |
| Tabla 14. Relación de las variables de estudio..... | 76 |
| Tabla 15. Procedimientos por objetivos | 77 |
| Tabla 16. Nivel de competencia de los operarios..... | 87 |
| Tabla 17. Identificación de máquinas..... | 89 |
| Tabla 18. Identificación de herramientas de apoyo..... | 92 |
| Tabla 19. Descripción detallada de las operaciones | 98 |
| Tabla 20. Participación de operaciones para el cambio de zapapicos 3105 de 5lb a zapapicos 3105 de 7lb..... | 103 |
| Tabla 21. Participación de operaciones para el cambio zapapicos 3100 de 5lb a zapapicos 3105 de 5lb | 104 |
| Tabla 22. Participación de operaciones para el cambio zapapicos 3105 de 4.5lb a hachas 4315 de 5lb | 106 |
| Tabla 23. Participación de operaciones para el cambio hacha 4311 de 3lb a hacha 4310 de 4lb..... | 107 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 24. Participación de operaciones para el cambio hacha 4313 de 3.5lb a hacha cuña 4313 6lb | 108 |
| Tabla 25. Participación de operaciones para el cambio zapapico 3105 de 5lb a piqueta 3105-07 de 1.5lb | 110 |
| Tabla 26. Cálculo del tiempo suplementario variable para cada operación | 120 |
| Tabla 27. Determinación del tiempo tipo | 122 |
| Tabla 28. Descripción de métodos identificados en el proceso de cambio | 125 |
| Tabla 29. Clasificación de las actividades en operaciones internas y externas del método actual..... | 131 |
| Tabla 30. Clasificación de las actividades en operaciones internas y externas del método propuesto | 136 |
| Tabla 31. Propuestas de mejoras | 141 |
| Tabla 32. Reducción del tiempo por cada propuesta detallado | 159 |
| Tabla 33. Ahorro de tiempo por propuesta global..... | 160 |
| Tabla 34. Reducción de costos por cada propuesta detallada..... | 161 |
| Tabla 35. Ahorro de tiempo vs ahorro de costos por propuesta global | 162 |
| Tabla 36. Representación del ahorro en costos y en tiempos | 163 |
| Tabla 37. Unidades producidas por cada cambio | 170 |
| Tabla 38. Revisión de la literatura sobre mejoras implementadas | 174 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Árbol de análisis | 22 |
| Ilustración 2. Tiempo de cambio | 23 |
| Ilustración 3. Frecuencia de cambio | 23 |
| Ilustración 4. Diagrama de flujo del ErgoSMED | 26 |
| Ilustración 5. La implementación de un armario como forma de mejora | 34 |
| Ilustración 6. Estrategia de mejora para herramientas..... | 35 |
| Ilustración 7. Aplicación en sectores industriales | 37 |
| Ilustración 8. Producción industrial mundial – año 2018..... | 38 |
| Ilustración 9. Producción industrial mundial – año 2019..... | 39 |
| Ilustración 10. Producción industrial a nivel nacional | 39 |
| Ilustración 11. Ranking de desempeño nacional | 40 |
| Ilustración 12. Estadísticas del IPI en los últimos 2 años para Caldas..... | 41 |
| Ilustración 13. Variaciones en Manizales con respecto a la producción, ventas y personal ocupado..... | 41 |
| Ilustración 14. Almacenamiento convencional de herramientas | 43 |
| Ilustración 15. Representación gráfica de las etapas del SMED | 49 |
| Ilustración 16. Disposición del material en dos arcos | 55 |
| Ilustración 17. Mecanismos de organización | 55 |
| Ilustración 18. Modelo ciclo PHVA..... | 61 |
| Ilustración 19. Tipos de porta matriz..... | 63 |
| Ilustración 20. División del herramental | 63 |
| Ilustración 21. Partes de un herramental cortador | 65 |
| Ilustración 22. Elementos generales del proceso de cambio de herramientas | 66 |
| Ilustración 23. Proceso metodológico por objetivos | 71 |
| Ilustración 24. Proceso metodológico detallado..... | 72 |
| Ilustración 25. Proceso metodológico en flujo | 73 |
| Ilustración 26. Máquina Wagner en las líneas de hachas y zapapicos | 75 |
| Ilustración 27. Tipos de competencia | 87 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 28. Flujo del proceso de cambio de herramientas..... | 96 |
| Ilustración 29. Calentamiento de herramientas..... | 97 |
| Ilustración 30. Foto de zapapico 3105 de 7lb a zapapicos 3105 de 7lb | 102 |
| Ilustración 31. Cambio de zapapico 3100 de 5lb a zapapicos 3105 de 5lb | 104 |
| Ilustración 32. Cambio de zapapicos 3105 de 4.5lb a hacha 4315 de 5lb | 105 |
| Ilustración 33. Proceso de soldadura y hachas asimétricas | 106 |
| Ilustración 34. Cambio de hacha 4311 de 3lb a hacha 4310 de 4lb | 107 |
| Ilustración 35. Cambio de hacha 4313 de 3.5lb a hacha cuña 4313 6lb..... | 108 |
| Ilustración 36. Proceso de rectificado..... | 109 |
| Ilustración 37. Montaje de platinas..... | 109 |
| Ilustración 38. Cambios de zapapico 3105 de 5lb a piqueta 3105-07 de 1.5lb | 110 |
| Ilustración 39. Diferencias de longitudes de la materia prima | 111 |
| Ilustración 40. Porcentaje de participación de la puesta a punto..... | 112 |
| Ilustración 41. Plano de la planta de producción..... | 113 |
| Ilustración 42. Suelo de la parte delantera vs suelo de la parte atrás de la máquina | 114 |
| Ilustración 43. Espacios del almacén..... | 115 |
| Ilustración 44. Estantería de herramientas externa | 116 |
| Ilustración 45. Puntos de almacenamiento de herramientas de apoyo | 117 |
| Ilustración 46. Mesas de alistamiento | 117 |
| Ilustración 47. Posición en el puesto de trabajo | 124 |
| Ilustración 48. Diagrama de recorrido del proceso de cambio | 129 |
| Ilustración 49. Factores para la identificación de mejoras | 140 |
| Ilustración 50. Propuestas de mejoras planteadas para el proceso de cambio de herramientas..... | 165 |
| Ilustración 51. Integración del SMED y la ingeniería de métodos..... | 166 |
| Ilustración 52. Tipo de punzones..... | 168 |
| Ilustración 53. Tipo de óvalos para las hachas | 168 |
| Ilustración 54. Operación de atornillar | 169 |
| Ilustración 55. Trabajo propuesto para los operarios durante el cambio..... | 172 |
| Ilustración 56. Reducción del tiempo según implementación de la fase del SMED..... | 173 |

1 INTRODUCCIÓN

La metodología SMED -*Single Minute Exchange of Die*- (cambio de troqueles en menos de diez minutos) tuvo origen en 1985 por el ingeniero japonés Shigeo Shingo; se fundamenta en reducir operaciones *internas* y *externas* de preparaciones y cambio de *herramientales* en máquinas troqueladoras. Es una herramienta esencial para mejorar y optimizar recursos en su máxima eficiencia; busca mejorar tiempos, costos, movimientos, productividad y calidad dentro de las organizaciones (Karam, Liviu, Cristina y Radu, 2018; Calero, Maccasi y Raymundo, 2020).

En el caso de estudio de la presente investigación, se ha usado la metodología SMED para determinar alternativas de mejora en el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos de una empresa del sector metalmeccánico de la ciudad de Manizales, Caldas, Colombia para la reducción de las variables de tiempos y movimientos debido a que actualmente presenta inconvenientes con el uso del tiempo aparentemente excesivo en las operaciones internas: desmontaje, montaje y *puesta a punto* para el cambio de herramienta hachas vs zapapicos y zapapicos vs hachas.

De igual manera, aprovechar que Colombia ha sido un referente importante en Latino América en la producción de materiales para la construcción y el agro. Lo anterior, para mejorar el proceso de cambio de herramientas en las líneas y poder potencializar la producción de hachas y zapapicos.

Con respecto al proceso de cambio de herramientas cumple con la función de entregar a planta el herramienta a tiempo en condiciones óptimas para su buen funcionamiento; el proceso comprende desde realizar montaje y desmontaje de herramientas hasta realizar *puesta a punto*.

Por otra parte, en la investigación se ha realizado una caracterización inicial del proceso en las líneas de hachas y zapapicos de la empresa objeto de estudio. Para esto, se utilizó la técnica de medición del tiempo con filmaciones, observaciones, diálogos, cursograma analítico y el estudio de tiempos y movimientos. Seguidamente, se ha aplicado la primera

fase de metodología SMED propuesta por Gil et. al., 2012 para determinar las operaciones internas y externas claves del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos y posteriormente, se definieron las cinco propuestas de mejoras soportados en un análisis de costos.

Con los estudios de métodos y tiempos realizados, vigilancia tecnológica, diagrama de recorridos, cursograma analítico, clasificación de operaciones, la investigación concluye la identificación de alternativas para facilitar el proceso de cambio de herramientas enfocado en la seguridad, flexibilidad y ergonomía del operario; las propuestas fueron: diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas, estandarizar las platinas, pintar las herramientas de apoyo, codificar las canecas de herramientas de apoyo y diseñar *Industrial Table Car*.

La metodología usada fue de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo; en relación a la empresa objeto de estudio, hace parte del sector metalmecánico de la ciudad de Manizales, Caldas, Colombia, dedicada a la fabricación y comercialización de herramientas agrícolas, construcción, jardinería, partes del sector militar y automotriz.

En conclusión, con el presente trabajo de investigación se ha identificado y se han planteado alternativas de mejora que disminuyan el tiempo de operación del proceso de cambio de herramientas en las líneas referenciadas de una empresa objeto de estudio, teniendo en cuenta movimientos, herramientas de trabajo, desplazamientos, cuellos de botella y reprocesos.

2 ANTECEDENTES

En esta sección, se presenta la revisión de antecedentes de literatura que fue desarrollada frente a la temática del SMED en sectores industriales. En la revisión se encontró que industrias como la metalmecánica, molde de inyección, eléctrico, alimentos, automotriz, maquiladoras, entre las más destacadas usaron la herramienta SMED para el mejoramiento de sus procesos de cambio. De igual manera, se han evidenciado diferentes técnicas para la ejecución de la herramienta que permite tener un mayor éxito en el diagnóstico y análisis de la información como también, diferentes acciones de mejora para reducir los tiempos; estas alternativas están dirigidas a equipos, herramientas, almacenamientos y mantenimientos.

Para la revisión de búsqueda de literatura se definieron ecuaciones de búsqueda. En primer lugar, en la base de datos de *Scielo* se utilizó la palabra: SMED, entre el periodo de tiempo del 2010 al 2020 y, limitado a las áreas de ingeniería y ciencias aplicadas. En la base de datos de *Science Direct* se realizó la búsqueda con las palabras: *SMED*, *Single Minute Exchange of Die* y *SMED methodology* en el título, resumen o palabras claves y entre los años del 2010 al 2020.

Seguidamente, en la base de datos de *Scopus* la ecuación de búsqueda fue la siguiente: *SMED o Single Minute Exchange of Die* en el título, resumen o palabras claves entre los años del 2010 al 2020 y limitado al área de ingeniería. Finalmente, para la base de datos de *Web of Science* la ecuación fue: *SMED y Single Minute Exchange of Die* entre los años del 2010 al 2020.

De acuerdo a lo anterior, los resultados fueron clasificados teniendo en cuenta la relevancia y no relevancia. Los artículos relevantes son los que tienen aplicabilidad en procesos industriales y los no relevantes, son los que tienen aplicabilidad fuera de procesos industriales, como, por ejemplo, en el sector educación y farmacéutico. También, son no relevantes en los que no se identificaron la aplicación del SMED.

Posteriormente, se eligieron los artículos relevantes para categorizarlos como relevancia: alta, media y baja; siendo alta, los artículos cuyos aportes están dirigidos a la creación de

nuevas herramientas de trabajo, métodos y tecnologías para la reducción de tiempos. Los artículos de relevancia media son los que aplicaron algunas etapas del SMED y algunas técnicas de Lean Manufacturing. Seguidamente, los artículos de relevancia baja son los que utilizaron la herramienta SMED pero no en el proceso cambio de formato sino en otros procesos de la organización como por ejemplo, en inventarios o en preparación de materias. Finalmente, los artículos relevantes se separaron en dos líneas temáticas: aplicación en líneas de producción o en máquinas para identificar las técnicas de recolección y análisis de datos.

A partir de los criterios descritos anteriormente, se obtuvieron 153 artículos.

Posteriormente, se cruzaron las 4 bases de datos, hallándose 34 artículos que se encuentran repetidos. Los 119 artículos se dividieron en relevantes y no relevantes, siendo 80 relevantes y 39 artículos no relevantes. Finalmente, los 80 artículos relevantes fueron separados dos líneas temáticas: aplicación en líneas de producción o en máquinas para identificar las técnicas de recolección y análisis de datos. A continuación, en la tabla No. 1 se evidencia la clasificación de relevancia de los artículos.

Tabla 1. Clasificación de referencias encontradas

| Clasificación | Base de datos | Relevancia | Número de artículos |
|----------------------|----------------------|-------------------|----------------------------|
| Relevantes | Scielo | Alta | 5 |
| | | Media | 3 |
| | | Baja | 4 |
| | Science Direct | Alta | 9 |
| | | Media | 7 |
| | | Baja | 3 |
| | Scopus | Alta | 17 |
| | | Media | 11 |
| | | Baja | 7 |
| | Web of Science | Alta | 3 |
| Media | | 6 | |

| | | |
|---------------|-------|----|
| | Baja | 5 |
| | Total | 80 |
| No relevantes | Total | 39 |

Fuente: Elaboración propia.

2.1 APLICACIÓN DEL SMED EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

En la revisión de literatura se evidenció la aplicación de la metodología SMED en líneas de producción y a equipos. En la tabla No. 2 se puntualiza la aplicación del SMED en líneas de producción, diferenciando el autor, el sector de aplicación, año y, la relación con las técnicas utilizadas para el diagnóstico y el análisis de los datos.

Para iniciar el abordaje del SMED en líneas de producción, según De la Fuente, Manzanedo y Hernández (2012) en Optimización de Operaciones Mediante la Técnica SMED en una Empresa de Envases Metálicos indica que la limitación de la capacidad de la planta productiva fue el determinante para analizar y diagnosticar las líneas a través del SMED. Los autores afirman que, la herramienta SMED es el camino para continuar disputando una cuota positiva en el mercado frente a su principal competidor. Como resultado, se logró realizar cambios y ajustes de maquinaria permitiendo reducir de 2:51:36 h a 2:28:09 h en cada ciclo de paradas y una mayor capacidad de producción en las líneas de fabricación con la ayuda de un sistema de control de la productividad.

En este contexto, el artículo De la Fuente, Manzanedo y Hernández (2012), aporta propuestas para conseguir la optimización del proceso, algunas de ellas son: crear un procedimiento estándar de cambio de máquina, estandarizar el tiempo de cambio, unificar útiles y herramientas y hacer las tareas que sea posible durante la máquina en marcha. Por otra parte, la importancia que debe asumir la gerencia y la trazabilidad con otras áreas, quienes trabajan en conjunto para obtener un buen proceso.

Tabla 2. Revisión de antecedentes: Aplicación del SMED a líneas de producción

| Autores | Año | Sector de aplicación | Técnicas utilizadas para el diagnóstico | | | | Técnicas utilizadas para el análisis | | | | | | | |
|--|------|----------------------|---|-----------|-------------|-----|--------------------------------------|---|---|---|---|---|-------|-----|
| | | | Tiempos con cronómetro | Grabación | Observación | NSI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Otros | NSI |
| Simões y Tenera | 2010 | Metalmecánico | x | | | | | | x | | | | | |
| Skotnicka, Wolniak y Gębalska | 2018 | | | x | | | | | | | | | | x |
| Stadnicka | 2015 | | | | x | | x | | | | | x | | |
| De la Fuente, Manzanedo y Hernández | 2012 | | | x | x | | | | x | | | | | |
| Sundar, Balaji, y Satheesh | 2014 | | | x | | | | | | | | | x | |
| Das, Venkatadri y Pandey | 2014 | | | | x | | x | | | | | | | |
| Carrizo | 2014 | | | | x | | | | | | | | x | |
| Rodríguez, Sánchez, Martínez y Arvizu | 2015 | | | | | x | | x | | | | | | |
| Braglia, Frosolini y Gallo | 2017 | | | | | x | | | x | | | | x | |
| De Vries y Van der Poll | 2018 | | | | x | | | | | | | | | x |
| Godina, Pimentel y Silva | 2018 | | | | x | x | | | | | | | | x |
| Singh, Singh y Singh | 2018 | | | | x | x | | | | | x | | | |
| Escobar, Jaurequi, Ibañez y Perez | 2020 | Automotriz | x | | x | | | x | | x | | | | |
| Rosa, Silva, Pinto y Campilho | 2017 | | | x | | | | | | | | x | | |
| Ekincioglu y Boran | 2018 | | | | x | x | | | | | | | x | |
| Basri, Mohamed, Yasir, Fazi y Fudzin | 2019 | | | | | x | | | | | | | x | |
| Kochańska y Burduk | 2019 | | | | x | | | | | | | | x | |
| Khusaini, Jaffar y Yusoff | 2014 | | | | | | x | | | | | | x | |
| Gholam, Alzahrani y Bajkhaif | 2018 | | | x | | | | | | | x | | | |
| Sira | 2011 | | | x | | | | | | x | | | | |
| Pratama, Saraswati, Prianggara y Savitri | 2020 | Electrónico | | | x | | | | x | | | | | |
| Prasetyo y Veroya | 2020 | Eléctrico | | | x | | | | | x | | | | |
| Azizi y Manoharan | 2015 | | | | x | | x | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|--------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| Dogan, Cebeci y Oksuz | 2018 | Textil | | x | x | | | x | | | | | | |
| Aldas, Reyes, Collantes, y Vilema | 2017 | | x | | | | x | x | x | x | x | | | |
| Aldas et al. | 2018 | | x | | | | | x | x | | | | | |
| Aldas et al. | 2018 | | x | | | | | x | x | | | | | |
| Almomani, Aladeemy, Abdelhadi y Mumani | 2013 | Molde de inyección | x | | | | | | | | x | | | |
| Parisotto y Pacheco | 2016 | | | x | | | | | x | | | | | |
| Pérez y Suárez | 2010 | Alimentos | x | | | | | | | | | x | | |
| Borges, Freitas y Sousa | 2015 | | | | | x | | | | | x | | | |
| Amrani y Ducq | 2020 | Aeronáutico | x | | | | | x | | | | | | |
| Brito y Gonçalves | 2020 | Se desconoce | | x | | | | | x | | | | | |
| Porcentaje de uso (%): | | | 39,4 | 33,3 | 36,4 | 9,1 | 15,1 | 18,1 | 18,1 | 18,1 | 15,1 | 9,1 | 21,2 | 9,1 |

Fuente: Elaboración propia.

Ítem NSI: No se identifica

Ítem 1: Mapa de valor

Ítem 2: Estudio de Métodos

Ítem 3: Diagrama analítico

Ítem 4: Diagrama hombre-máquina

Ítem 5: Cálculo de la eficiencia

Ítem 6: 5S

Ítem Otros: Técnicas para hacer múltiples criterios de decisión (MCDM), software WITNESS, 5 por qué (5W), programa de simulación LMTTS-SMED, programa iGrafx, método Rasch y método de Taguchi.

En la producción de calzado, los autores Aldas et al. (2018); Aldas et al. (2018); Aldas et al. (2017) indican que el desperdicio de tiempo en los cambios de formato no agrega valor y el consumidor final no paga por ello. Razón por la cual se planteó realizar un estudio de tiempos en los modelos de mayor demanda: casual, deportivo y de seguridad industrial. La diferencia de los artículos es que cada uno hace énfasis en operaciones diferentes del proceso de troquelado.

De acuerdo con Aldas et al. (2018); Aldas et al. (2018); Aldas et al. (2017), el SMED es considerado como metodología ya que es una herramienta estratégica para aplicar acciones de mejora con el fin de reducir tiempos, costos, desperdicios, así como la contribución al mejoramiento de los procesos en la fabricación. Para estos estudios usaron las tres etapas del SMED planteado por el Ing. Shigeo Shingo en 1985, las cuales son: identificar las operaciones internas y externas, convertir las actividades internas en externas y la tercera fase es la mejora tanto en las actividades internas como externa. Como resultado de estas investigaciones se encontró: reducción en el montaje de 0,41 min/par del tipo de calzado casual, en el modelo deportivo de 0,49 min/par y en el modelo de seguridad industrial de 0,53 min/par, reducción del 1,8 % en aparar laterales del modelo deportivo y 9,3 % en ojallillar cortes del modelo de seguridad industrial y se redujo en la operación de corte de cuero el 6 % para el calzado casual y deportivo y un 10 % del calzado seguridad industrial, respectivamente. Adicionalmente, se estandarizaron las operaciones, se calculó el tiempo estándar de cada una de las operaciones y se determinó que existe un tiempo improductivo en la maquinaria.

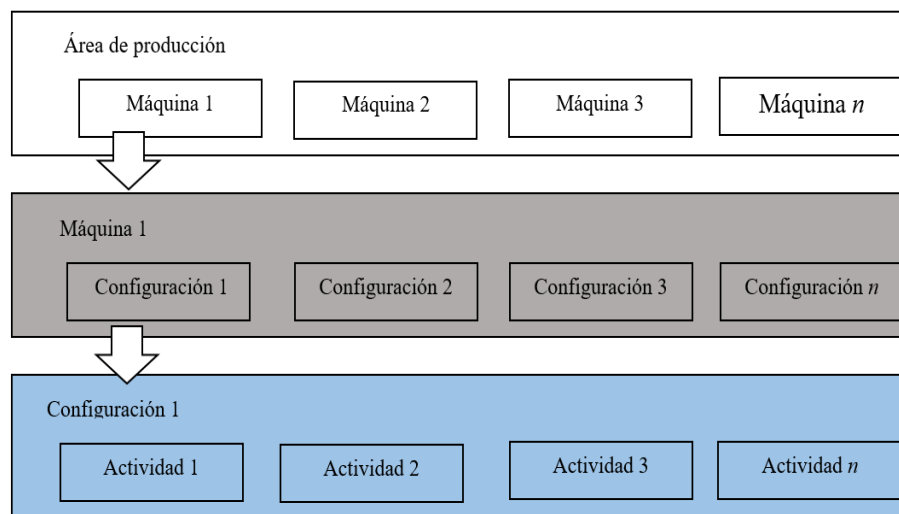
Finalmente, los artículos de Aldas et al. (2018); Aldas et al. (2018); Aldas et al. (2017) citados aportan elementos claves para el cálculo de la eficiencia, un profundo desglose de las actividades que generan mayor desperdicio de tiempo, cálculo de los desperdicios con la ayuda del diagrama hombre-máquina y elementos claves para el uso de cada una de las técnicas para recopilar y analizar la información.

Por otra parte, Skotnicka, Wolniak y Gębalska (2018) y Stadnicka (2015) afirman que a causa de los requisitos del mercado y la necesidad de reducir los costos de producción fue

concluyente para mostrar que a través de la metodología permite el mejoramiento de la eficiencia productiva en las líneas de producción.

Stadnicka (2015), realizó 88 encuestas dirigidas a empresas de una región de Polonia haciendo énfasis en la realización de los cambios y ha analizado los datos a través de un software estadístico: FMEA -*Failure Mode and Effect Analysis*- como se evidencia en la ilustración No. 1. El árbol de análisis resume las operaciones que realiza directamente cada máquina con el fin de identificar las operaciones externas e internas.

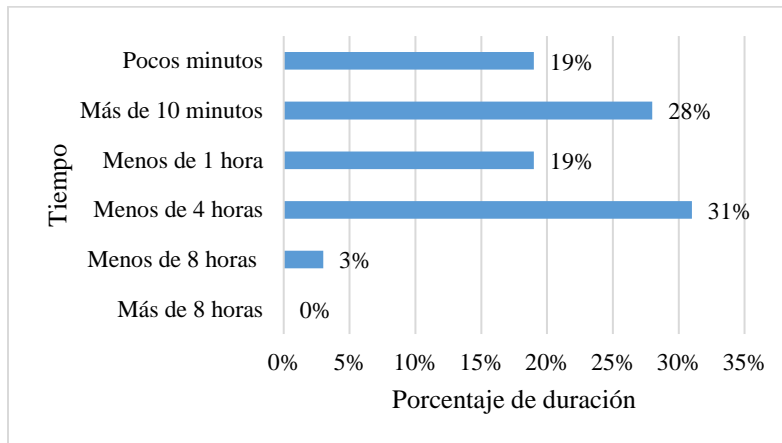
Ilustración 1. Árbol de análisis



Fuente: Adaptado de Stadnicka, 2015.

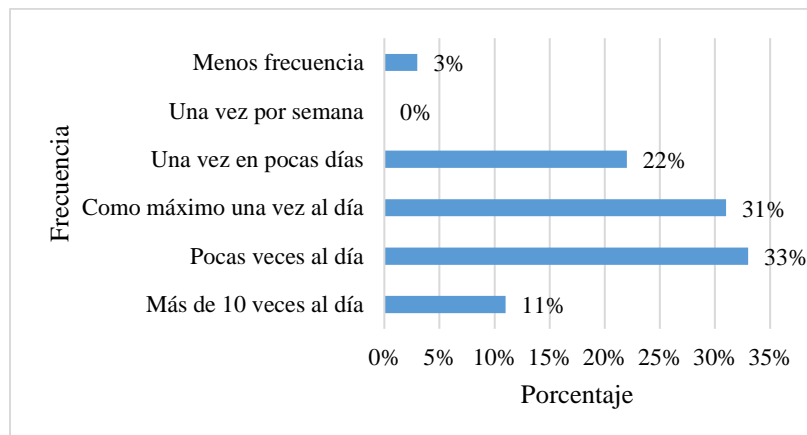
De acuerdo a la ilustración No. 1, se evidencia que la metodología SMED aumenta la eficiencia en la productividad en una línea de producción de cualquier tipo de sector. Finalmente, los artículos Skotnicka, Wolniak y Gębalska (2018) y Stadnicka (2015) aportan estrategias para analizar el proceso de estudio antes y después como lo es la *checklist* propuesta por Skotnicka et al. (2018). Además de las propuestas de mejoras claves para cualquier proceso y finalmente, los porcentajes de duración de un cambio y el número de veces por día encontrados en la investigación de Stadnicka (2015), tal como se evidencia en las ilustraciones No. 2 y 3.

Ilustración 2. Tiempo de cambio



Fuente: Adaptado de Stadnicka, 2015.

Ilustración 3. Frecuencia de cambio



Fuente: Adaptado de Stadnicka, 2015.

En la industria de bebidas, según Pérez y Suárez (2010) las teorías de la ingeniería de métodos y el SMED permiten diseñar una aplicación de identificación, evaluación y control de problemas en sistemas productivos con el empleo de Excel. La aplicación permite arrojar datos de productividad y eficiencia para cada una de las líneas del estudio de caso. De modo que la relación con la actual investigación es la incorporación de fundamentos básicos que rigen la ingeniería de métodos a la metodología y aporta la implementación de

una aplicación en Excel para analizar los sistemas productivos en términos de productividad, tiempo de cambio y eficiencia por semana y por mes.

Por otra parte, Parisotto y Pacheco (2016) aplican los pasos del SMED según Shingo (1985) a una línea de envases de PET de refrescos: 250ml y 2000ml en Brasil. Lo anterior, con el objetivo de evaluar los resultados y proponer una nueva metodología de acuerdo a las brechas encontradas. El artículo consiste en realizar la toma de tiempos y escoger la máquina que más demore, luego se toma los tiempos de las actividades de la máquina demorada y se identifica cuáles podrían ser las actividades externas para tratar de convertirlas en internas y así ahorrar ese tiempo. Posterior, se examina todas las actividades nuevamente junto con las acciones de mejoras propuestas.

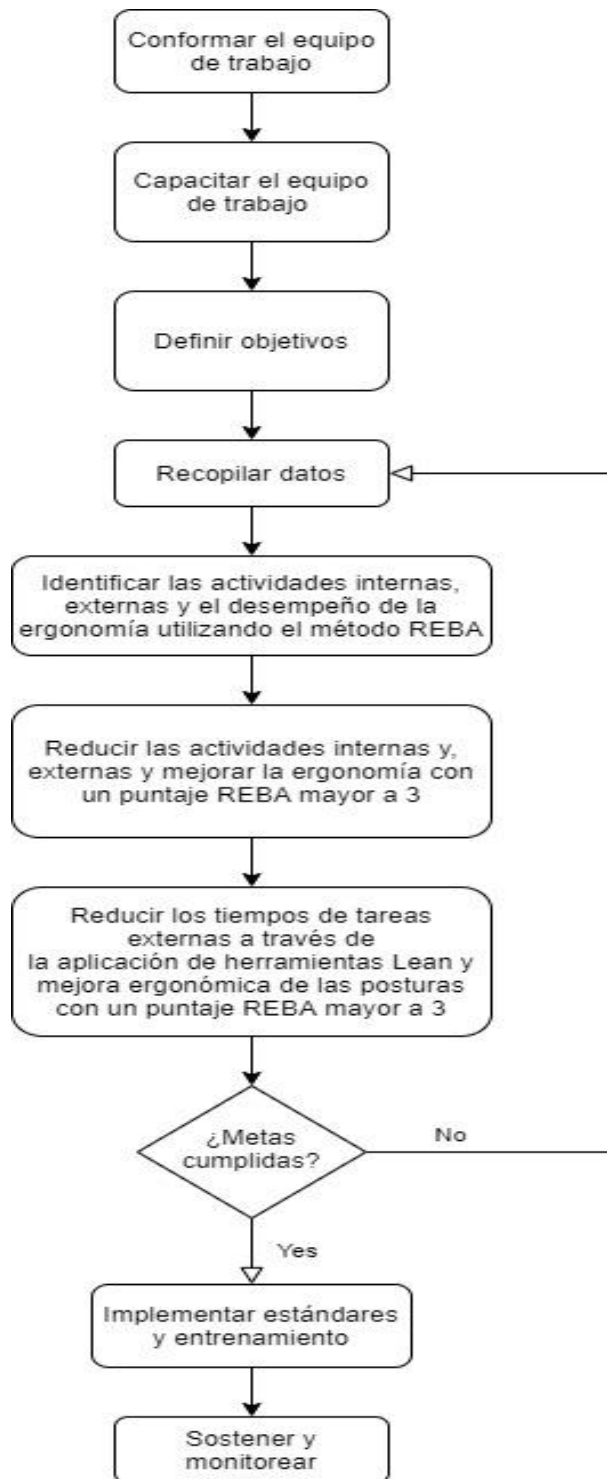
Finalmente, para comprobar que dichas propuestas fueron implementadas se realizó un monitoreo por 30 veces. Se redujo en un 72.6 % en el tiempo de preparación de las máquinas y se identificaron aspectos no considerados a partir de la literatura revisada como lo fue la estandarización de actividades y verificación de resultados, los cuales fueron propuestos a las etapas de la metodología SMED. Hay que mencionar además que, el artículo aporta etapas indispensables a la metodología y la identificación de actividades internas y externas y las máquinas que más toman tiempo en el cambio así como las causas para atacar primero.

En la industria automotriz, Sira (2011) informa que a raíz de la inactividad de la línea de producción de cables de acero se vio reflejado la necesidad de involucrar el SMED para reducir los tiempos de inactividad. Se utilizaron técnicas como estandarización y 5S. La metodología del estudio fue la aplicación del SMED según Shingo en el año 1985. Como resultado de ello, se logró una mejora en un 58% de reducción del tiempo y la implementación de las mejoras se llevó a cabo en una semana. Finalmente, los aportes a la actual investigación son: caracterización de los problemas con las causas de cada uno, identificación de los cambios de acuerdo a las referencias críticas y la determinación de actividades que no agregan valor como buscar material, transportar el herramental, ajustar máquinas e inspeccionar el acabado.

Según Rosa, Silva, Pinto y Campilho (2017) el uso del diagrama hombre-máquina surgió desde la necesidad actual de los sectores productivos en la utilización de herramientas que continúen a la vanguardia de la optimización de los procesos en áreas de producción como en gerenciales. Se utilizaron herramientas como métodos, tiempos, movimientos, Poka Yoke, manufactura esbelta, simulación de Montecarlo y distribución en planta. De acuerdo con el estudio, la relación de los diagramas hombre-máquinas con las diferentes filosofías coadyuvan al mejoramiento continuo de los procesos, dado que su aplicación permite obtener información oportuna y pertinente para la toma de decisiones. Para concluir, la combinación de dichas herramientas fue un aporte significativo en los resultados de este trabajo. El aporte a la actual investigación es la aplicación y funcionamiento del diagrama hombre-máquina como puntos de análisis en los cambios de herramientas.

Seguidamente, los autores Brito y Gonçalves (2020) propusieron un diagrama guía para aplicar conjuntamente los conceptos de ergonomía y el SMED como se observa en la ilustración No. 4. Adicionalmente, propusieron una consola movable y que llegará hasta la cintura del operario para reducir el movimiento de bajar en dirección al piso.

Ilustración 4. Diagrama de flujo del ErgoSMED



Fuente: Adaptado de Brito y Gonçalves, 2020.

En este contexto, la temática de la aplicación del SMED en líneas de producción muestra que, las industrias del sector metalmecánico y automotriz son las que más prevalece en la implementación de la metodología SMED. Se ha podido observar también que el sector alimentos, textil y de inyección han tenido gran acogida en la incorporación de técnicas del SMED para diferentes necesidades siguiendo los pasos de Shingo. De acuerdo a la tabla No. 2, el 39,4 % de los artículos citados han diagnosticado a través de la toma de tiempo con cronómetro y el 18,1 % han utilizado el estudio de métodos, diagrama analítico y diagrama hombre-máquina como técnicas de análisis ya que permite observar fácilmente las diferentes actividades.

Finalmente, los cambios en líneas de producción se hacen más extenso por la cantidad de máquinas, operarios y de la dificultad de los mismos productos; uno de los factores para coordinar la reducción del tiempo es el apoyo desde la gerencia y la trazabilidad con otras áreas, quienes trabajan en conjunto para obtener un buen proceso. Además, las actividades de buscar, ajustar, mover, entre otras deben eliminarse, pues no agregan valor en los cambios.

2.2 APLICACIÓN DEL SMED EN MÁQUINAS

En la revisión de literatura se ha evidenciado la aplicación de la metodología SMED en máquinas. En la tabla No. 3 se evidencia la aplicación del SMED en máquinas y la relación con las técnicas utilizadas para el diagnóstico, el análisis de los datos y el tipo de producción. La aplicación se fundamenta en sectores tales como metalmecánico, textil, automotriz, electrónico, aeronáutico, alimentos, entre otros.

Tabla 3. Revisión de antecedentes: Aplicación del SMED a máquinas

| Autores | Año | Sector de aplicación | Técnicas utilizadas para el diagnóstico | | | | | Técnicas utilizadas para el análisis | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|----------------------|---|-----------|------------|-------------|-----|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|-------|
| | | | Toma de tiempos con cronómetro | Grabación | Entrevista | Observación | NSI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Otros |
| Jebaraj, Murugaiah y Srikamaladevi | 2013 | Metalmecánico | | x | x | x | | x | | x | | | | | |
| Bartz, Mairesse y Garcia | 2012 | | x | x | | x | | | | | | | | | x |
| Bartz, Mairesse y Tafarel | 2012 | | | | | x | | | | | | | | | x |
| Dhake y Rajebhosale | 2013 | | | x | | | | | | | | | | | x |
| Oliveira, Sá y Fernandes | 2017 | | | x | | | | | | | x | | | | |
| Kurniawan, Nurlaila y Armila | 2018 | | | x | | | | | | | | | | | x |
| Espin | 2013 | | | x | | | | | | | | | | | x |
| Vijaya, Mani y Devraj | 2014 | | | x | | | | | | | x | | | | |
| Fernández | 2014 | | | x | | | | | | | x | | x | | |
| Filla | 2016 | | | | | x | | | | | | | | | x |
| Orozco | 2016 | | | | | | x | | | | x | x | | x | |
| Sabadka, Molnar y Fedorko | 2017 | | | x | | x | | | | | | | | | x |
| Donizeti, Oliveira, Message y Lopes | 2018 | | | x | | | | | | | x | | | | |
| Ahmad y Soberi | 2018 | | | x | x | | | | | | x | | | | |
| Chiarini | 2014 | | | | x | | | x | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------------|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|---|--|---|---|
| Martins, Godina, Pimentel, Silva y Matias | 2018 | Automotriz | x | | | | | | | | | | | | x | |
| Antosz y Pacana | 2018 | | x | | | | | | x | | | | | | | |
| Bidarra, Godina, Matias y Azevedo | 2018 | | | x | x | x | | | x | | | | | | | |
| Sri, Mentari y Azzam | 2018 | | x | | | | | | | | | | | | | x |
| Desai y Rawani | 2017 | | | x | | | | | | | x | | | | | |
| Basri y Mohamed | 2017 | | | x | | x | | | | | | | | | | x |
| Balon y Buchtová | 2015 | | | x | | x | | | x | | | | | | | |
| Ribeiro et al. | 2019 | Calzado | x | | | | | | | x | | | | | | |
| Borges et al. | 2019 | | x | | | | | | | | x | | | | | |
| Pérez, Marmolejo, Mejía, Caro y Rojas | 2016 | | x | | x | | | | | | | | | | | x |
| Herculano, Gomes y Barreto | 2012 | | | x | | | | | | | | | | | | x |
| Hendri | 2015 | | x | | | | | | | | x | | | | | |
| Lozano, Saenz, Martinez, Jimenez y Blanco | 2017 | Alimentos | | | | | x | | | x | | | | | | |
| Lozano, Saenz, Martinez, Jimenez y Blanco | 2017 | | | x | | | | | | x | | | | | | x |
| Tapia, Escobedo, Barrón, Martínez y Estebané | 2017 | | | x | | | | | | | | | | | | x |
| Díaz et al. | 2016 | Maquiladora | | | x | | | | | | | | | | | x |
| Díaz et al. | 2017 | | | | x | | | | | | | | | | | |
| Lipiak | 2017 | Gráfico | x | | | x | | | | x | | | x | | | |
| Indrawati, Pratiwi, Sunaryo y Azzam | 2018 | | | x | | | | | | | x | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|--------------------|----|----|------|----|-----|------|-----|----|------|-----|-----|-----|----|
| Logesh y Balaji | 2020 | | | | | x | | | | | | | x | | |
| Guzmán y Salonitis | 2013 | Electrónico | | x | | | | | | | x | | | | |
| Sousa et al. | 2018 | Tapas de corcho | | x | | | | x | | | | | | | |
| Brito, Ramos, Carneiro y Gonçalves | 2017 | Metalúrgica | | x | | | | | x | | x | | x | | |
| Mallampati, Srivivivas y Tirumala Krishna | 2018 | Aeronáutica | | x | | | | | x | | | | | | |
| Carrizo y Campos | 2011 | Cerámica | x | | | x | | | | | | | | x | |
| Guarín | 2014 | | | | | | | | | | | | | x | |
| Roriz, Nunes y Sousa | 2017 | Cartón | x | | | | | | | x | | x | x | | |
| Amrina, Junaedi y Prasetyo | 2018 | Molde de inyección | x | | | | | | | x | | | | x | |
| Karasu y Salum | 2018 | | | x | | | | | | | | | | | x |
| Guzel y Asiabi | 2020 | Se desconoce | | x | | | | | | | x | | | | |
| Gil, Sanz, Benito y Galindo | 2012 | | | x | x | | | | | | | | | | |
| Reis y Murta | 2010 | | | | | | | | | | | | | | x |
| Porcentaje de uso (%) | | | 34 | 49 | 14,9 | 23 | 8,5 | 10,6 | 8,5 | 23 | 14,9 | 8,5 | 4,3 | 6,4 | 43 |

Fuente: Elaboración propia.

Ítem NSI: No se identifica

Ítem 1: Mapa de valor

Ítem 4: 5S

puestos de trabajo (REBA)

Ítem Otros: Cálculos financieros, diagrama Gantt, sistema dinámico y factores físicos, software EBM, sistema de inferencia

difusa (FIS), técnica de modelado de ecuaciones estructurales (SEM), software WarpPLS 5, software SPSS, la media tiempo

entre fallas (MTBF) y, tiempo promedio para reparar dicha falla (MTTR), diagrama pareto y programa de simulación WITNESS.

Ítem 2: Estudio de métodos

Ítem 5: Diagrama de recorrido

Ítem 7: Calculo de desperdicios

Ítem 3: Cálculo de la eficiencia

Ítem 6: Método para la evaluación ergonómica de

Para iniciar el abordaje del SMED en máquinas, en el sector metalmecánico, los autores Espin (2013); Fernández (2014); Orozco (2016); Oliveira, Sá y Fernandes (2017) y Donizeti, Oliveira, Message y Lopes (2018) establecieron una serie de pasos para el cambio de lote a través de diferentes puntos de vista de Shingo en los años 50. Los autores proponen los siguientes pasos: observar, identificar y separar las operaciones internas y externas, convertir las internas en externas, reestructurar la configuración y finalmente, estandarizar el nuevo proceso. Como resultados de las investigaciones, en forma general, es el aumento del tiempo productivo, estandarización de las actividades y la reducción del tiempo en el cambio.

Espin (2013); Fernández (2014); Orozco (2016); Oliveira, Sá y Fernandes (2017) y Donizeti, Oliveira, Message y Lopes (2018) aportan tres ejemplos de cambio de lote; el primero, es el cambio de herramientas en las prensas, el segundo es la limpieza; ejemplo, cabinas de pintura y el último, es el cambio de configuración de la materia prima; ejemplo, línea de envases. Todavía cabe señalar que, el artículo determina el transporte de un herramienta como una operación externa, así como también lo indica Sira (2011).

Seguidamente, Fernández (2014) cumple con el objetivo de mejorar las operaciones de preparación de máquinas conformadoras de paneles mediante el SMED. Para ello, Fernández (2014) necesitó tomar tiempos, calcular la eficiencia y realizar diagrama de recorrido y Pareto. Teniendo en cuenta lo anterior, obtuvo los siguientes resultados: se redujo el tiempo de parada, se estableció mejoras para la máquina de paneles y se aumentó la productividad. Finalmente, el artículo aporta los formatos de diagrama de recorrido y toma de tiempos e indica que a través de la metodología se produce lo necesario. De manera semejante, la investigación de Orozco (2016) considera que el SMED es ideal para reducir la sobreproducción y sincronizar los materiales que intervienen.

Según, Dhake y Rajebhosale (2013); Filla (2016) y Kurniawan, Nurlaila y Armila (2018) desarrollaron un comparativo del antes y después de la aplicación del SMED con el fin de obtener resultados relevantes y así mismo, solucionar las brechas encontradas. El problema de las investigaciones radica en el tiempo de configuración de las máquinas y la falta de organización del área de almacenamiento de las piezas de las máquinas.

Los autores Dhake y Rajebhosale (2013) adoptaron los siguientes pasos basados en los criterios de Shingo en los años 50: determinar la necesidad de reducción del tiempo, recopilar y analizar los datos, analizar las actividades internas y externas, convertir las actividades internas en actividades externas, eliminar/reducir las actividades internas y externas e implementar las propuestas de reducción de configuración. Por otra parte, Kurniawan et al. (2018) emplearon los pasos de QDC -Quick Die Change- mientras que Filla (2016) aprovechó los pasos del SMED propuesto en 1985.

Kurniawan et al. (2018) y Filla (2016) obtuvieron una reducción de hasta el 70 % del tiempo de configuración de las máquinas, organizaron el almacenamiento, diseñaron un armario para guardar accesorios y separaron las actividades internas y externas como también se aumentó la productividad y disponibilidad de máquinas. Finalmente, las investigaciones sugieren propuestas de mejora para rediseñar el almacenamiento de las piezas de las máquinas, propuestas para eliminar las actividades internas, diseño de una herramienta de trabajo para mejorar el orden y cálculo del ahorro anual del tiempo.

Para el sector textil, Pérez, Marmolejo, Mejía, Caro y Rojas (2016) propusieron diseñar e implementar un plan de mejoramiento en una empresa de confección a través de herramientas como Manufactura Esbelta, 5S y control visual. Lo anterior, con el objetivo de disminuir los desperdicios, tiempos de paradas y mantener el orden. El artículo permitió mediante un diagnóstico identificar las causas raíces generadoras de los problemas y rediseñar el diagrama de flujo y de recorrido. Cabe señalar que también se rediseñó los puestos de trabajo. Posteriormente, el artículo contribuye a la utilización de diferentes mecanismos de trabajo para obtener resultados positivos.

De otro lugar, Herculano, Gomes y Barreto (2012) y Borges et al. (2019) cumplen con el objetivo de encontrar la mejor alternativa para el problema de cambio de molde en una máquina inyectora de botas en una fábrica de Brasil mientras que Logesh y Balaji (2020) desarrolla e implementa el SMED en una empresa del sector electrónico. Los artículos surgieron desde la necesidad en ser competitivas, en implementar estrategias de mejora que permitan seguir compitiendo en el mercado y fabricar lo necesario siempre y cuando se disminuyan los costos al mínimo posible.

En las investigaciones usaron técnicas como el conteo del tiempo con cronometro, grabación, observación, resolución de problemas, 5S y cálculo de la eficiencia para analizar los datos del cambio. Luego, a través del análisis se escoge la mejor alternativa siendo la estandarización de procesos como parte fundamental en el SMED.

De acuerdo con lo anterior, los artículos obtuvieron como reducción de mínimo el 50 % del tiempo de configuración. Otro rasgo a destacar es el cumplimiento del principal fundamento del SMED el cual es, lograr el tiempo de cambio en menos de 10 minutos; tal como lo afirma el Ingeniero Japonés Shingo. Con el cumplimiento del criterio se demuestra que, si es posible lograr un cambio en una máquina en tan poco tiempo; siendo éste, un aporte valioso a la actual investigación. Por otra parte, aportan estrategias para transportar los moldes desde la estantería hasta la máquina mientras que Borges et al. (2019) aporta 2 meses para la implementación del SMED.

De otro punto de vista, Bartz, Mairesse y Garcia (2012) y Bartz, Mairesse y Tafarel (2012) resaltan la importancia de las etapas del SMED en máquinas sopladora y rotuladora. Los autores indican que las etapas conllevan al aumento de la productividad de las máquinas; éstas fueron seleccionadas por medio del método no probabilístico de muestreo por cuotas y la clasificación se llevó a cabo por ser las primeras máquinas de las líneas de producción y presentar el mayor tiempo de configuración.

En concreto, se disminuyeron los movimientos a través de la estandarización de procesos y creación de un armario para ubicar el herramental y demás accesorios como se evidencia en la ilustración No. 5 y estos estudios, invitan a la utilización del estudio de métodos para la creación de herramientas que proporcionen seguridad y flexibilidad en la operación.

Ilustración 5. La implementación de un armario como forma de mejora



Fuente: Bartz, Mairesse y Tafarel, 2012.

En Martins, Godina, Pimentel, Silva y Matias, (2018) y Sousa et al. (2018) abordan el tema de mejorar equipos a partir de diferentes técnicas y en diferentes sectores industriales. En primera instancia, Martins et al. (2018) proponen calcular el tiempo invertido en el cambio de configuración en máquinas del sector automotriz y en segunda instancia, Sousa et al. (2018) emplean la grabación y el software A3. Otro rasgo a destacar es que en las investigaciones comparan el tiempo, cantidad y costo.

En cuanto a los resultados, la conversión de operaciones internas en externas no tuvo un gran impacto; aun así, el análisis llevado a cabo dio lugar a cambios en los equipos que produjeron un impacto relevante. Lo anterior, permitió reducir en más del 40 % el tiempo de configuración. Hay que mencionar además que, los artículos citados aportan elementos claves para el cálculo de la eficiencia, determinación de los tiempos en los días que se hacen los cambios para verificar ver cuál es el cambio más y, menos demorado y la incorporación de un modelo denominado A3.

Los autores Guzel y Asiabi (2020) propusieron como alternativas de mejora: consola portátil, herramientas de corte y herramientas de apoyo por familias de productos y una lista de chequeo de herramientas y la identificación de los tiempos de vida de cada producto. De esta manera, aporta soluciones prácticas en la implementación de la herramienta SMED.

Para finalizar la línea temática de aplicación del SMED en máquinas, Sabadka, Molnar y Fedorko (2017) y Brito, Ramos, Carneiro y Gonçalves (2017) aportan estrategias para involucrar al personal encargado del cambio; pues indican, que a través de las estrategias mitigan la resistencia al cambio. De igual modo, aportan estrategias de mejoras alineadas a las condiciones ergonómicas, ya que antes no se utilizaba ayudante como se muestra en la ilustración No. 6. Finalmente, proveen que el tiempo de configuración inicia desde la última pieza buena del producto anterior hasta la primera pieza buena del siguiente producto.

Ilustración 6. Estrategia de mejora para herramientas



Fuente: Brito, Ramos, Carneiro y Gonçalves, 2017.

En resumen, la línea temática de aplicación del SMED en máquinas, proporciona herramientas claves para mejorar la identificación y organización de herramientas, entre otros elementos necesarios. Lo anterior, también está relacionado con la aplicación de ingeniería de métodos. De otro lugar, la tabla No. 3 indica que el 49 % de los artículos citados han obtenido los datos a través de la grabación y el 43 % han utilizado diagrama gantt, software EBM, técnica de modelado de ecuaciones estructurales (SEM), software WarpPLS 5, software SPSS, la media tiempo entre fallas (MTBF) y diagrama pareto como técnicas de análisis.

Los antecedentes muestran que, a partir de la implementación del SMED se reduce el tiempo de cambio de las máquinas y en las líneas de producción. Normalmente, la aplicación del SMED en máquinas cumple el criterio de cambio; el cual hace referencia a que el tiempo de configuración sea en menos de 10 minutos; mientras, el SMED en las

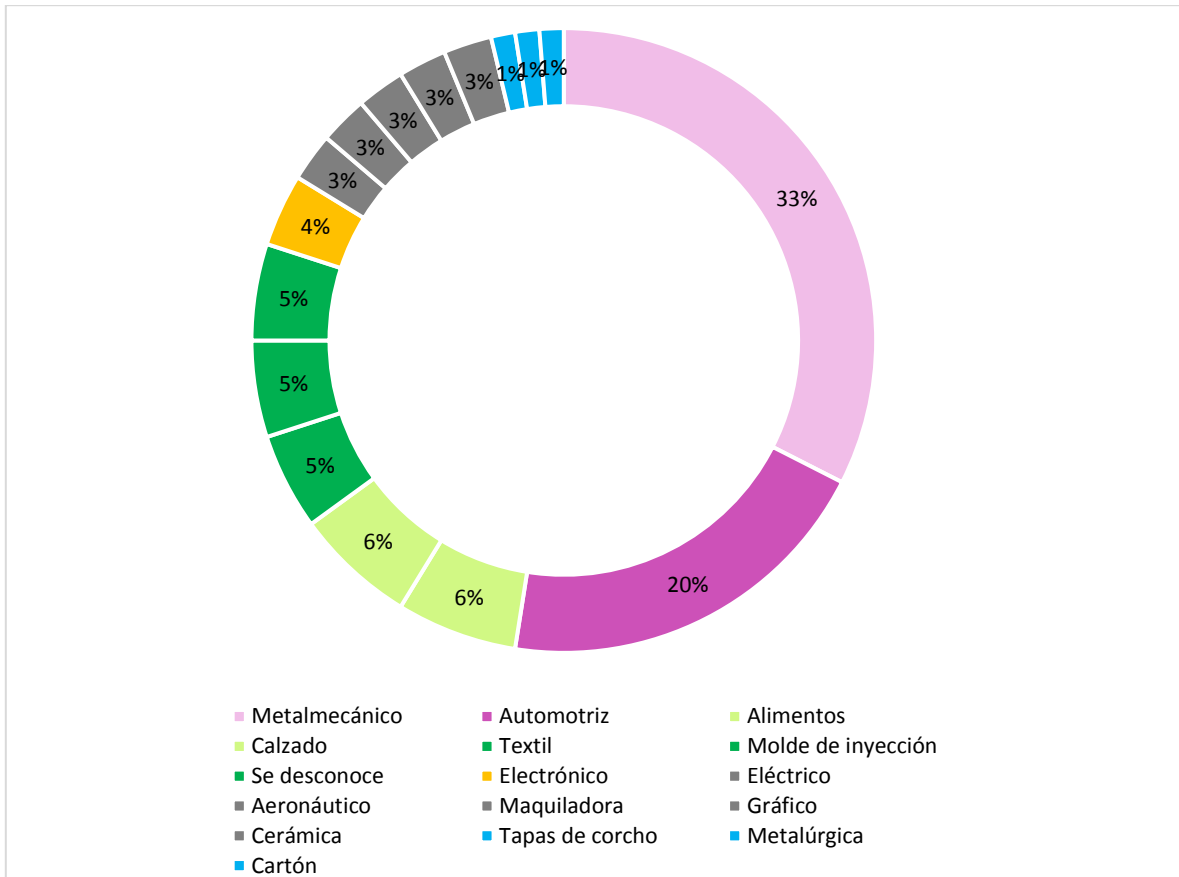
líneas de producción incumple el criterio debido a se hace más extenso por la cantidad de máquinas, el tipo de producción y puesto que el cambio no se realiza en paralelo.

Aun así, desde la revisión de antecedentes es posible reducir el tiempo de cambio con la ayuda con la ayuda de acciones de mejoras dirigidas a equipos, herramientas, almacenamientos, mantenimientos y al personal involucrado. En visto de lo anterior, las mejoras están relacionadas con la estandarización del cambio tanto en la parte de tecnología dura como en tecnología blanda.

Hay que mencionar, además, la disminución o eliminación de los movimientos a causa de los transportes de herramientas y demás elementos para el cambio; así como también, las operaciones de buscar y ajustar deben eliminarse puesto que el SMED inicia desde la organización y planeación de los recursos requeridos. Adicionalmente, el orden del almacenamiento de los elementos requeridos juega un rol primordial, pues si existe orden más fácil será el proceso de selección de las herramientas.

Finalmente, en la ilustración No. 7 se observa que, la aplicación de la herramienta SMED está dirigida en un 33 % al sector metalmecánico tanto en líneas de producción como en máquinas; cabe resaltar también que, la industria automotriz contribuye en un 20 % en el uso del SMED en sus procesos industriales. De otro lado, el 5 % no se identifica el tipo de sector debido a que son artículos de revisión o porque no se alcanza a detectar fácilmente; también, éste porcentaje corresponde para el sector textil y molde de inyección.

Ilustración 7. Aplicación en sectores industriales



Fuente: Elaboración propia.

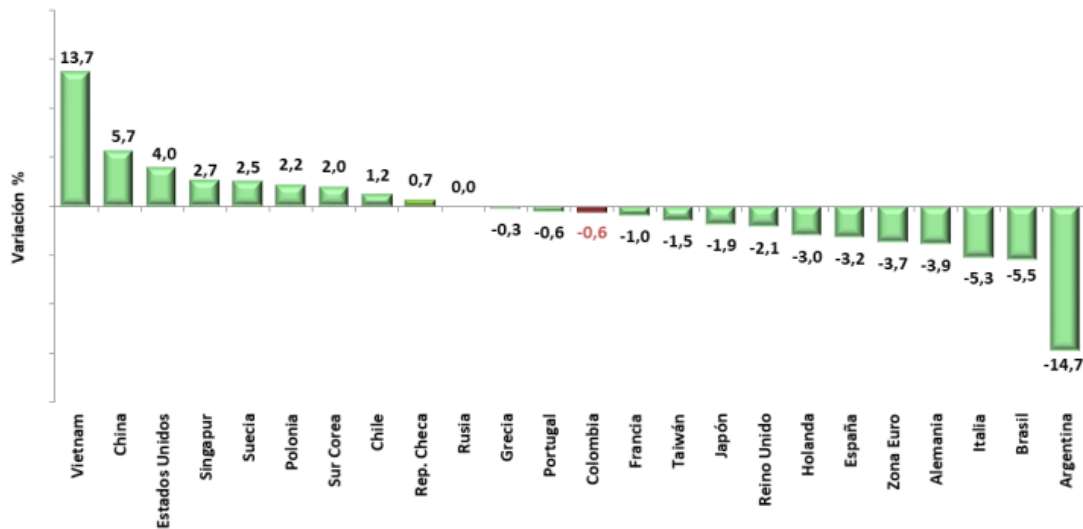
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La Oficina de Estudios Económicos del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MINCIT], indicó que el sector metalmecánico a nivel mundial decreció en un 0,4 % para el cierre del 2019 en comparación al 2018, en el cual había aumentado 8,3 % en exportaciones. A diciembre del 2019, Estados Unidos fue el principal destino de las exportaciones industriales siendo el 26,9 % (crecimiento de 4,6 % con respecto a 2018) luego se destaca la gran participación de Italia, que se incrementaron de US\$134 millones en 2018 a US\$504 millones a 2019 (MINCIT, 2019).

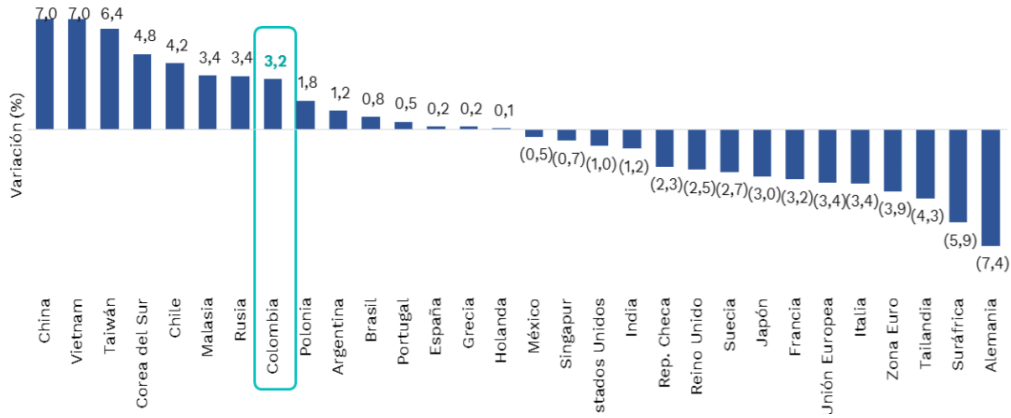
Así mismo, los países con mayores crecimientos en la producción industrial mundial siguen siendo los países del continente asiático: China y Vietnam con el 7,0 %, Taiwán con el 6,4 % y Corea del Sur con el 4,8 % en el 2019 (con respecto al 2018 fueron: Vietnam con el 13,7%, China con el 5,7 %, Estados Unidos con el 4,0 % y Singapur con el 2,7 %) con la novedad que para este cierre del año Estados Unidos decreció en la producción manufacturera tal como se refleja en las ilustraciones No. 8 y No. 9 (MINCIT, 2019).

Ilustración 8. Producción industrial mundial – año 2018



Fuente: Como se cita en MINCIT, 2018.

Ilustración 9. Producción industrial mundial – año 2019

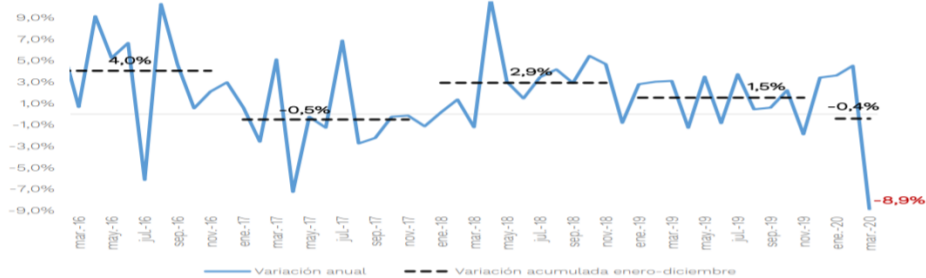


Fuente: Como se cita en MINCIT, 2019.

Mientras que, Chile pasó de 1,2 % en el 2018 a 4,2 % en el 2019 fue uno de los países en Latinoamérica con mejor desempeño. Colombia también mejoró, quedando en un 3,2 % en el 2019 en comparación del 2018 que estaba en un -0,6 %. Por otro lado, los países con menor desempeño en el 2019 fueron: Alemania con el -7,4, Suráfrica con el -5,9 % y Tailandia con un 4,3 % en comparación al mismo mes del año anterior siendo Brasil con el -5,5 %, Argentina con el -14,7 % y Alemania con el -3,9 %.

Sin embargo, el sector metalmeccánico a nivel nacional decreció 8,9 % en el mes de marzo de 2020 en comparación al mismo mes del año 2019 (MINCIT, 2020). Lo anterior, en razón al aislamiento preventivo obligatorio por el Covid-19. En la ilustración No. 10 se observa el desplome de la producción manufacturera en Colombia para el mes de marzo de 2020.

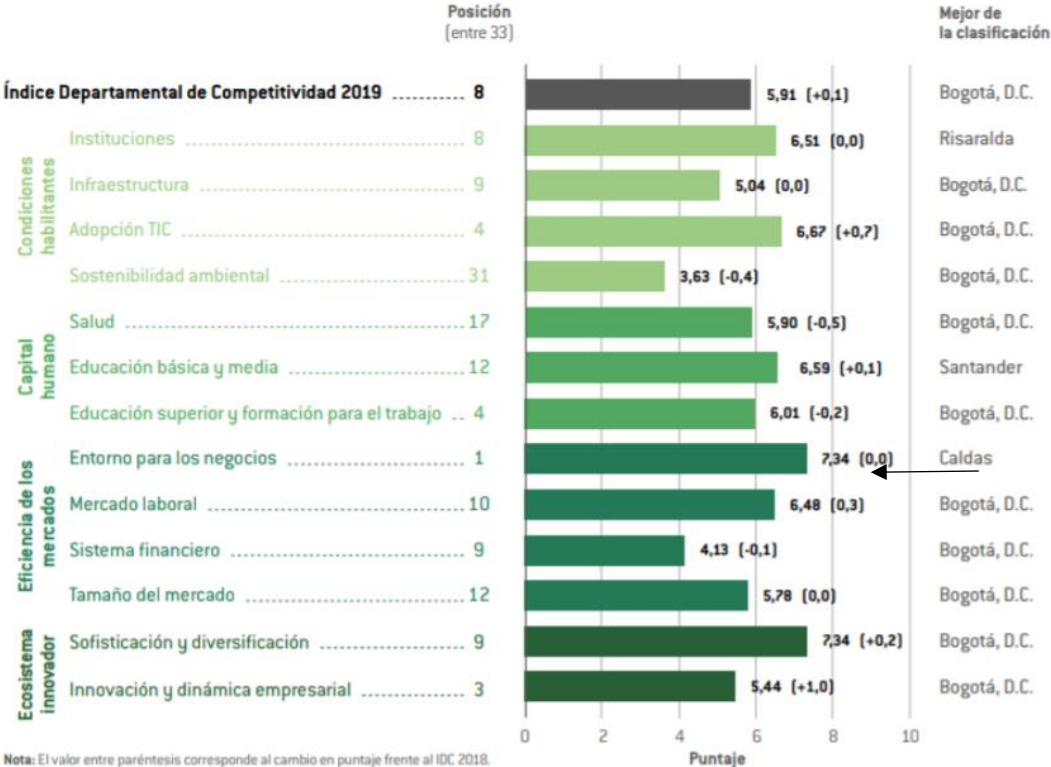
Ilustración 10. Producción industrial a nivel nacional



Fuente: Como se cita en MINCIT, 2020.

Caldas ocupa el puesto No. 8, según el Índice Departamental de Competitividad 2019 de los departamentos más competitivos para el crecimiento nacional del sector metalmeccánico. Es un departamento en el que se resalta la sofisticación y diversificación de los productos y un buen entorno para los negocios como se evidencia en la ilustración No. 11 (Cámara de Comercio de Manizales por Caldas [CCMPC], 2019).

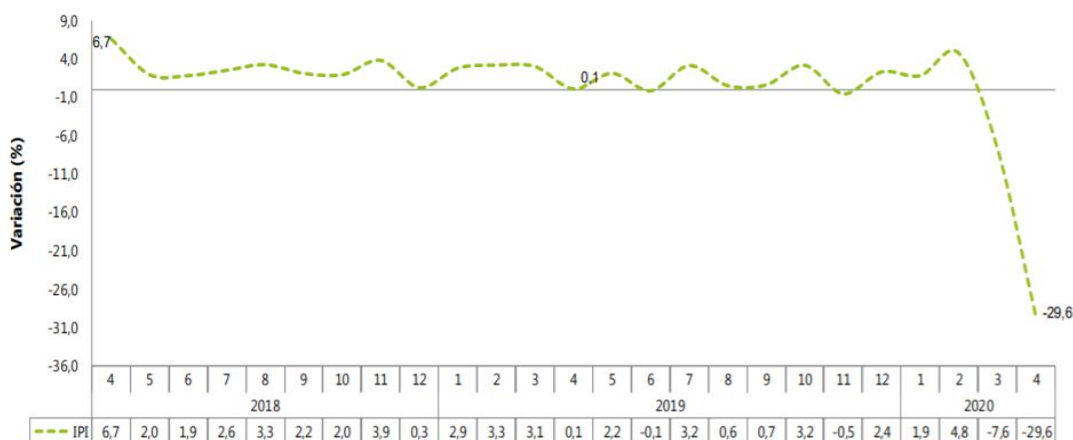
Ilustración 11. Ranking de desempeño nacional



Fuente: Como se cita en CCMPC, 2019.

Sin embargo, Caldas creció en un 6.11 % en el año 2015 y en los últimos 2 años ha sido muy versátil la producción industrial. El departamento enfrenta una de sus variaciones negativas más preocupantes tomando el -29,6 % en el Índice de Producción Industrial (IPI) en el mes de abril de 2020 con respecto al mismo mes del año anterior como se refleja en las estadísticas de la ilustración No. 12 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2020).

Ilustración 12. Estadísticas del IPI en los últimos 2 años para Caldas



Fuente: Como se cita en DANE, 2020.

Manizales también se ha visto afectada en abril del 2020 con respecto al año anterior. La variación en la ciudad ha tomado posición en los primeros lugares de mayores datos negativos; un -51,7 % corresponde en la contribución de la producción real, un -54,6 para ventas reales y un -10,4 corresponde para el personal ocupado como se refleja en la ilustración No. 13 (DANE, 2020).

Ilustración 13. Variaciones en Manizales con respecto a la producción, ventas y personal ocupado

| Ciudades | Producción | | Ventas | | Personal Ocupado | |
|------------------------|--------------|------------|--------------|------------|------------------|------------|
| | Variación % | Cont.(p.p) | Variación % | Cont.(p.p) | Variación % | Cont.(p.p) |
| Total Industria | -35,8 | | -35,9 | | -7,8 | |
| Resto del país | -35,5 | -19,2 | -35,5 | -19,3 | -6,6 | -3,0 |
| Bogotá, D.C | -41,3 | -6,5 | -40,1 | -6,2 | -9,5 | -2,3 |
| Yumbo | -47,2 | -2,5 | -45,9 | -2,4 | -9,0 | -0,5 |
| Medellín | -36,6 | -2,3 | -36,2 | -2,4 | -5,9 | -0,5 |
| Barranquilla | -30,4 | -1,6 | -28,3 | -1,4 | -12,7 | -0,7 |
| Cartagena de Indias | -26,0 | -1,4 | -35,8 | -2,0 | -6,8 | -0,2 |
| Manizales | -51,7 | -0,8 | -54,6 | -0,8 | -10,4 | -0,2 |
| Bucaramanga | -49,8 | -0,7 | -44,5 | -0,6 | -13,6 | -0,2 |
| Santiago de Cali | -14,1 | -0,6 | -11,1 | -0,4 | -9,6 | -0,4 |
| Pereira | -38,1 | -0,4 | -38,0 | -0,3 | 1,4 | 0,0 |

Fuente: Como se cita en DANE, 2020.

No obstante, el sector manufacturero enfrenta problemas: altos costos de materia prima, falta de mano de obra calificada, pérdida de tiempos y falta de planeación para los cambios de máquinas y herramientas debido a la inadecuada gestión de los recursos y a la falta de contemplar la necesidad del cambio en las organizaciones del sector metalmeccánico (Aldas, Portalanza, Tierra y Barrionuevo, 2018; Ospina, 2016).

Cuando estos problemas no son gestionados de manera sistémica, las empresas del sector metalmeccánico deben incorporar de manera precipitada nuevos conocimientos, tecnologías, teorías, sistemas y herramientas para contribuir al ahorro de recursos financieros y mitigar riesgos. (Ovalle y Cárdenas, 2016); así mismo, la incorporación de métodos de trabajos para estandarizar las operaciones (Gento, Atienza y Pascual, 2009) que ayuden a la reducción del tiempo y movimientos.

La empresa objeto de estudio que aborda la actual investigación toma consciencia de emprender el camino en la búsqueda de soluciones para sus necesidades con el fin de mejorar el proceso de cambio ya que lleva 60 años en el mercado de herramientas para el agro, construcción y jardinería.

Es de destacar que, la empresa objeto de estudio en los cambios de herramientas de las líneas de hachas y zapapicos presentan inconvenientes en las operaciones de montaje, desmontaje y en la puesta a punto. Uno de los principales factores es la demora del cambio por la falta de planeación, organización, y estandarización de los herramientas y el conjunto de herramientas. Por ejemplo, en la ilustración No. 14 se observa el caso de los autores Kurniawan, Nurlaila y Armila, 2018, el cual es similar al de la actual investigación donde se evidencia falta de organización.

El manejo inadecuado en la selección y clasificación de herramientas y herramientas al igual que una mala planeación provocan que el cambio de herramientas no cumpla con los estándares de proceso proporcionando desplazamientos y demoras innecesarias.

Ilustración 14. Almacenamiento convencional de herramientas



Fuente: Kurniawan, Nurlaila y Armila, 2018.

Además, estas operaciones se realizan de forma manual y con métodos de trabajo que no agregan valor, trayendo consigo reprocesos, reajustes, demoras y montajes inadecuados. En algunos casos, se presenta demoras por herramientas que no cumplen con las especificaciones contra plano y se debe cambiar de herramienta o ajustar la pieza. También, a la hora de bajar o subir los herramientas no se cuenta con los elementos de trabajo necesarios ya que no se ha hecho una planeación de ellos y como consecuencia se presentan los movimientos y tiempos innecesarios.

Es necesario recalcar que, en cualquier tipo de operación del proceso de cambio de herramientas depende de la experticia, entrenamiento y capacidad de los operarios para la ejecución de las mismas. Las principales causas de que no se tenga un ritmo de trabajo estándar son la resistencia al cambio y desconocimiento de la realización de trabajo (Fernández, 2014; Castañeda, 2011).

La limitación del proceso de cambio de herramientas se debe a la falta de mecanismos de apoyo para la reducción del tiempo de cambio, la falta de transformación de sus componentes actuales y, la limitación del recurso monetario. Durante la recolección de los datos, se pudo observar que, cuando se hace uso del montacargas para el proceso de cambio no es claro el herramienta a elegir porque no se encuentra en su lugar o no existía una

planeación. Lo anterior, trayendo consigo retrasos y movimientos innecesarios por la falta de organización, planeación y a pesar que es guiado por el mecánico.

Además, contar con un sólo montacargas para realizar múltiples actividades dentro de la planta de producción del caso de estudio restringe el buen funcionamiento del proceso de cambio en razón a que, las prioridades del proceso en estudio se modifican de acuerdo a la disponibilidad de la herramienta de gran peso.

Finalmente, se ha detectado que en la empresa se han desarrollado técnicas de mejoramiento de procesos con base de la experiencia de su personal, prescindiendo de procesos de investigación que se deben desarrollar al interior de la misma; como consecuencia de esto, no se ha llevado a cabalidad las metodologías implementadas. Además, no se ha iniciado desde la parte fundamental como lo es la planeación. Como se ha evidenciado, una de las mayores problemáticas que se presenta en el proceso radica en la falta de planeación y organización; razón por la cual trae pérdidas económicas, largos tiempos de cambios y reducción de la productividad.

De acuerdo a lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué propuestas de alternativas de mejoras en el proceso de cambio de herramientas se deben utilizar en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmecánico de Manizales bajo el Single Minute Exchange of Die?

4 JUSTIFICACIÓN

El sector metalmeccánico es uno de los más grandes y potentes a nivel nacional y cada día se fortalece en el mercado internacional. El 37 % de las empresas de clase mundial hace parte del sector metalmeccánico gracias a la calidad, tecnología e innovación de los productos y a nivel regional, Manizales es la ciudad que presenta mayor potencial del sector metalmeccánico del Eje Cafetero (MINCIT, 2019; Ovalle, Ocampo y Acevedo, 2013).

Los sectores más influyentes en la cadena metalmeccánica en Manizales se encuentran: construcción, automotriz, infraestructura, manufactura y agroindustrial convirtiéndose en un sector importante en la región y para otras industrias. El sector metalmeccánico en Manizales aporta 2.460 empleos directos y más de 2.000 indirectos, siendo el 36 % del empleo industrial y con el 20 % del empleo total de la ciudad (CCMPC, 2019).

La industria manufacturera se encuentra constantemente en procesos de cambio, desarrollo de nueva tecnología y la incorporación de herramientas para que por medio de ellas puedan enfrentar grandes retos y sus negocios cada día puedan ser más competitivos con el fin de exigir mayor control y calidad en sus procesos (Ovalle, Ocampo y Acevedo, 2013).

Por el auge del sector metalmeccánico, la trayectoria durante 60 años en el proceso de la forja y las problemáticas que se presentan en la empresa objeto de estudio, se ha identificado la necesidad de elaborar un estudio que abarque la estructura de operación del proceso de cambio de herramientas para que a través del proyecto de investigación se planteen propuestas de mejoras enfocadas a la organización y planeación de los herramientas, herramientas de trabajos y métodos de operación (Kurniawan, Nurlaila & Armila, 2018).

En la empresa objeto de estudio, la línea de producción sobre la cual se realizaron los diferentes análisis fueron las líneas de hachas y zapapicos. Fueron elegidas para realizar el estudio ya que tienen un alto volumen de producción mensualmente y son líneas que toman más de dos horas de proceso de cambio, según datos proporcionados por la empresa. Es necesario recalcar que se realiza en dos líneas porque comparten en mayor medida las

mismas máquinas para producir hachas y zapapicos, la diferencia son los herramientas y dos máquinas.

La importancia del proyecto ha radicado en el manejo de los herramientas puesto que demanda una labor meticulosa donde no hay opción para la improvisación, es decir, el manejo de herramientas implica precisión y perfección (Alcalá, 2011; Epsilon, 2011). Hay que mencionar además que, la empresa objeto de estudio enfrenta grandes retos para reducir el tiempo del cambio de herramental en las líneas de hachas y zapapicos, viéndose obligado a contar con un estricto control administrativo y técnico. Además, unir esfuerzos a lo largo de los procesos puesto que facilita la competitividad, producción, uso óptimo de los tiempos y el uso racional de los costos de la empresa (Brito, Ramos, Carneiro y Gonçalves, 2017).

Seguidamente, es vital aportar a la empresa desde el proceso de investigación a la reducción del tiempo de cambio de los herramientas en las líneas de hachas y zapapicos. Además, facilitar el proceso de cambio, mejorar los estándares de calidad, costos, eficiencia ante la creciente competencia (Gil, Sanz, Benito y Galindo, 2012) y con la finalidad de alcanzar los objetivos estratégicos de la empresa en compañía del subgerente de manufactura, coordinador del proceso de cambio de herramientas, operarios, entre otros miembros que en su momento sea necesario su aporte para cumplir de forma satisfactoria los objetivos planteados.

Finalmente, se ha aportado y se ha dejado a disposición para la Universidad Autónoma de Manizales herramientas y guías aplicadas en el sector industrial que sirvan como fuentes de apoyo para futuros trabajos. Al mismo tiempo, se ha contribuido a la región un nuevo conocimiento aplicado a una industria caldense en términos de ciencia, tecnología e investigación como lo fue la articulación de grandes herramientas de la ingeniería industrial: estudio de tiempos, estudio de movimiento y el SMED.

5 REFERENTES TEÓRICOS

En esta sección, se presentan los beneficios que otorgan la implementación del SMED y la trayectoria desde sus inicios hasta el día de hoy. Además, se destacan los elementos claves de la ingeniería de métodos que incluye el estudio de tiempos y movimientos. Así pues, se ha logrado identificar las fases para la implementación del SMED que conllevan a la búsqueda de alternativas de mejoras que faciliten el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos de la empresa de investigación.

5.1 SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE

El SMED -Single Minute Exchange of Die- que significa cambio de troqueles en menos de diez minutos fue fundado por el Ingeniero Japonés Shigeo Shingo en el año 1950; Shingo, fue reconocido por ser un pionero en la implementación de buenas prácticas manufactureras; trabajó en Mazda, Mitsubishi y Toyota, entre las más conocidas. De allí, la herramienta surgió por la necesidad de eliminar los cuellos de botellas, aumentar la productividad y obtener la producción JIT -Just in Time- (Dillon y Shingo, 1985; Tapia, Escobedo, Barrón, Martínez y Estebané, 2017).

Sólo hasta en 1967 se dio a conocer por el éxito en varias plantas de la Toyota, pues en una de ellas se redujo el cambio de herramientas de 4 horas a 3 minutos en una máquina toqueladora de 1000ton. Con esto se quiere decir que, la herramienta propone que los cambios de configuración para pasar de un lote a otro, se pueden llevar a cabo en un tiempo inferior a 10 minutos (Borges, Freitas, y Sousa, 2015; Kurniawan, Nurlaila y Armila, 2018).

Cuando nació la técnica de Manufactura Esbelta, se dio a conocer también que se basa en operaciones internas y externas. Las operaciones internas son las actividades que se realizan cuando la máquina se encuentra parada, tales como estampado, enderezado, entre otras; mientras, las operaciones externas son las actividades que se realizan cuando la máquina está en marcha como, por ejemplo, transporte de herramientas y herramientas desde el lugar de almacenamiento hasta la máquina, entre otras (Espin, 2013; Mulyana y Hasibuan, 2017).

Conviene subrayar que, un proceso de cambio de herramientas es ideal cuando están separadas las operaciones internas de las externas. Lo anterior, se logra por medio de las etapas propuestas por Shigeo Shingo en 1950 como se ejemplifica en la ilustración No. 9 (Borges, Freitas y Sousa, 2015).

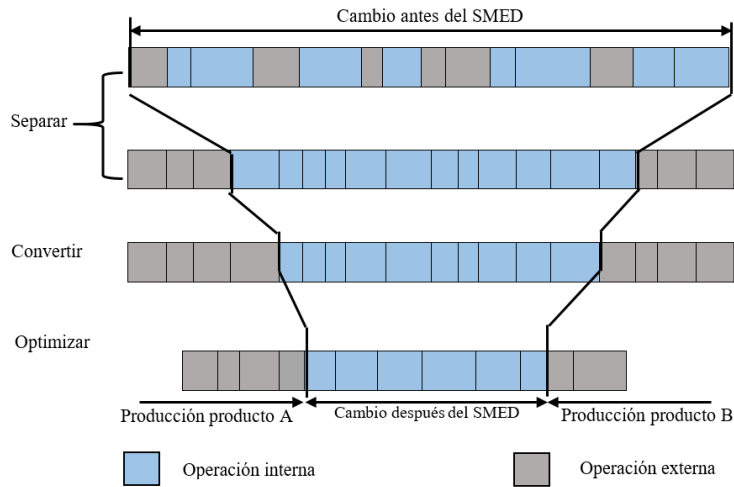
Hay que mencionar además que, anteriormente las empresas fabricaban un sólo tipo de producto; hoy en día, las organizaciones producen diversos productos ocasionando mayor diversificación y rapidez en la implementación de la herramienta. De igual manera, presenta mayor complejidad aunque es allí donde a través del SMED permite poner en marcha sus bondades que en el pasado no era posible para mejorar los procesos en planta (Alcalá, 2011).

5.1.1 Fases Del SMED

El Ingeniero Japonés Shigeo Shingo planteó las siguientes etapas para el SMED; siendo éstas las bases para revolucionar el concepto. En primer lugar, se encuentra la separación de las operaciones internas y externas, seguidamente, la conversión de las operaciones internas en externas y por último, la optimización de ambas operaciones, tal como se evidencia en la ilustración No. 9. (Barduzzi, Vieira Junior, Baptista y Correr, 2017).

En la ilustración No. 15 se evidencia un cambio de herramental. Antes de la aplicación del SMED, las operaciones internas como las externas son mezcladas simultáneamente y todas las operaciones se reflejan como internas. Posteriormente, se incorpora paso a paso las etapas logrando identificar las internas y, externas y así mismo, reducir el tiempo de la operación interna (Espin, 2013).

Ilustración 15. Representación gráfica de las etapas del SMED



Fuente: Adaptado de Borges, Freitas y Sousa, 2015.

A partir de la revisión de antecedentes, se desarrolla la tabla No. 4 donde se resalta la evolución de las etapas del SMED a lo largo del tiempo y se menciona los principales criterios que destacan los autores citados. La tabla No. 4 se construye con el objetivo de escoger las etapas que han de aplicarse en la actual investigación.

Tabla 4. Variaciones de la metodología SMED

| Autores | Año | Número de etapas | Criterios relacionados con el SMED |
|-------------------------------------|------------|-------------------------|---|
| Carrizo y Campos | 2011 | 4 | Defiende la gestión de procesos como clave para la mejora de la productividad |
| De la Fuente, Manzanedo y Hernández | 2012 | 4 | Defiende que no siempre se alcanza los resultados propuestos. |
| Gil, Sanz, Benito y Galindo | 2012 | 4 | Defiende el empleo de alternativas de mejora sólo con recursos esenciales. |
| Espin | 2013 | 5 | La reducción del tiempo en el cambio es la clave para aumentar la competitividad. |

| | | | |
|-------------------------------|------|---|--|
| Borges, Freitas y Sousa | 2015 | 3 | El tiempo de cambio empieza cuando sale la última pieza buena hasta cuando sale la primera pieza buena del siguiente producto. |
| Aldas et al. | 2017 | 3 | Defiende que para que sea factible la metodología se debe crear un manual de procedimientos así no se aplique todos los pasos. |
| Rosa, Silva, Pinto y Campilho | 2017 | 3 | Indica que el tiempo se puede reducir desde una acción simple hasta una sofisticada. |
| Aldas et al. | 2018 | 3 | Defiende que cuando son trabajos manuales se aplica solo la tercera fase. |
| Aldas et al. | 2018 | 3 | Se puede aplicar en pequeñas y medianas empresas que no están convencidas de los beneficios. |
| Brito y Gonçalves | 2020 | 9 | Articulación de la ergonomía y los principios de la herramienta. |

Fuente: Elaboración propia

Con base en los datos obtenidos en la tabla No. 4, se escoge la metodología del autor Gil et al., (2012) ya que permite mayor claridad y acercamiento a los criterios de Shingo en la ejecución de cada una de las etapas. Se desea subrayar que en la investigación se ha aplicado la primera fase de la metodología designada (tabla No. 5).

Tabla 5. Etapas de la metodología propuesta por Gil et al, 2012

| Etapas | Actividades |
|---------------|---|
| | Elegir el problema: |
| | - Determinar el cambio de útiles. |
| | - Designar el grupo de trabajo. |
| | - Planificar las fechas de las reuniones. |
| | Observar la situación actual: |

| | |
|-----------------------|---|
| <p>1. Preparar</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Grabar y asignar las tareas de visualización. - Descomponer el cambio de útiles. - Separar las operaciones internas y externas. <p>Analizar las causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las funciones reales de cada operario. <p>Proponer mejoras:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Proponer ideas para transformas las operaciones internas en externas. - Proponer ideas para racionalizar las operaciones internas restantes. - Proponer ideas para racionalizar las operaciones externas. - <p>Aplicar las mejoras:</p> |
| <p>2. Desarrollar</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer un plan de acciones detallado. - Realizar las mejoras técnicas. - Escribir el procedimiento provisional del cambio rápido de útiles. <p>Verificar los resultados:</p> |
| <p>3. Comprobar</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Realizar un cambio rápido de útiles siguiendo el procedimiento provisional. - Medir el tiempo real del nuevo cambio de útiles. <p>Establecer las reglas de trabajo:</p> |
| <p>4. Asegurar</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Escribir el procedimiento definitivo del cambio rápido de útiles. - Asegurar la formación del personal. - Organizar el seguimiento. <p>Dar continuidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar otros trabajos en el marco del plan de mejora. |

Fuente: Adaptado de Gil et al., 2012.

En la etapa de preparación, se describe cada una de las operaciones que se realizarán para el cambio de referencia, se realiza un análisis de las operaciones, clasificándolas en internas y externas y se proponen acciones de mejora. Luego, en la segunda etapa, se implementa las

mejoras en los diversos elementos; mientras, en la etapa de comprobación, se verifica que las propuestas de mejoras han sido lucrativas y finalmente, en la última etapa, se asegura el proceso de cambio de herramientas a través del levantamiento del procedimiento (Gil et al., 2012).

En definitiva, gracias al SMED se permite reducir o eliminar etapas que obstaculizan la mejora de los procesos productivos y reducir costos dentro de una organización independiente de la actividad productiva y el tamaño, siempre y cuando se proporcione el cambio de herramientas (Sira, 2011). Adicionalmente, es necesario recalcar que la herramienta se basa en teoría y decenas de años de experimentación práctica (Dillon y Shingo, 1985).

5.2 INGENIERÍA DE MÉTODOS

La ingeniería de métodos es la aplicación de métodos analíticos para mejorar la forma en que se realizan las actividades laborales de un proceso. Lo anterior, se fundamenta en eliminar las operaciones y elementos innecesarios con el fin de alcanzar el mejor y el más rápido método de trabajo para el ser humano y las máquinas (López, Alarcón y Rocha, 2014). De igual forma, han surgido las técnicas de estudio de tiempos y movimientos que coadyuvan a las mejoras de los métodos de trabajos (Sira, 2011).

5.2.1 Estudio De Movimientos

El estudio de movimientos se refiere al análisis minucioso de los macromovimientos y micromovimientos cuando se realiza una operación. El estudio cumple con el objetivo de eliminar los movimientos innecesarios, valorar los necesarios y estandarizar el ciclo de movimientos (Duque, Ovalle y Ocampo, 2018). Los esposos Gilbreth fueron los pioneros en realizar un análisis profundo del estudio de movimiento, establecer las leyes básicas de la economía de los movimientos y del estudio de micromovimientos (Kanawaty, 1996; Ovalle y Cárdenas, 2016).

Para llevar a cabo el estudio de movimientos es necesario la observación detallada y preferiblemente, contar con una cámara de video que permita capturar los movimientos y así mismo tener evidencia para el análisis (Salazar, Arroyave y Ovalle, 2016). Además, es

posible realizar el diagrama de recorrido (Kanawaty, 1996) y clasificar los movimientos realizados de acuerdo a los principios de economía de movimientos (Duque, Ovalle y Ocampo, 2018) para su respectivo análisis.

A continuación, se describe los principios básicos de la economía de movimientos que permite identificar la productividad del trabajo realizada por el operario. Posteriormente, se presenta la clasificación de los movimientos de acuerdo a lo esfuerzos del cuerpo humano.

5.2.1.1 Principios de economía de movimientos.

Los tres principios son propuestos por la familia Gilbreth, cuya función es establecer métodos reales y ajustables al puesto de trabajo; sirven para reducir la fatiga física del trabajo manual (Duque, Ovalle y Ocampo, 2018). Los principios son: criterios para el uso del cuerpo humano, criterios para la distribución del lugar de trabajo y criterios para la distribución de máquinas y herramientas, tal como se observa en la tabla No. 6.

Tabla 6. Clasificación de los principios de los movimientos

| Principios de los movimientos | Criterios |
|---|---|
| Criterios para el uso del cuerpo humano | <ul style="list-style-type: none"> - Las manos deben usarse a la misma vez y en direcciones opuestas. - Los brazos deben usarse a la misma vez y en direcciones opuestas. - Los movimientos del cuerpo deben ser continuos y rectos, preferiblemente. - El ritmo de trabajo debe ser normal y cómodo. |
| Criterios para la distribución del lugar de trabajo | <ul style="list-style-type: none"> - Se debe disponer de un espacio determinado para las herramientas de trabajo. - Las herramientas de trabajo deben situarse cerca del lugar de operación y de fácil acceso. |

| | |
|---|---|
| Criterios para la distribución de máquinas y herramientas | - La silla del operario debe estar a la altura adecuada. |
| | - Las condiciones locativas deben estar en óptimas condiciones. |
| | - Evitar que las manos estén ocupadas por elementos innecesarios. |
| | - Evitar la búsqueda de los objetos de trabajos. |
| | - Tratar de manejar el orden y planeación de los objetos de trabajos. |

Fuente: Adaptado de Kanawaty, 1996.

5.2.1.2 Clasificación de Movimientos.

Esta clasificación consiste en analizar los movimientos de una operación en el puesto de trabajo según el punto de apoyo y las partes del cuerpo humano. En la tabla No. 7, se observa la clasificación siendo, la más apropiada para los movimientos la clase más baja (Kanawaty, 1996).

Tabla 7. Clasificación de movimientos

| Clase | Punto de apoyo | Partes del cuerpo |
|-------|----------------|---------------------------------------|
| 1 | Nudillos | Dedo |
| 2 | Muñeca | Mano y dedos |
| 3 | Codo | Antebrazo, mano y dedos |
| 4 | Hombro | Brazo, antebrazo, mano y dedos |
| 5 | Tronco | Torso, brazo, antebrazo, mano y dedos |

Fuente: Kanawaty, 1996.

Los movimientos se clasifican según la parte de apoyo para identificar y eliminar las actividades innecesarias. Lo anterior, con el objetivo de reducir fatiga y mejorar el método

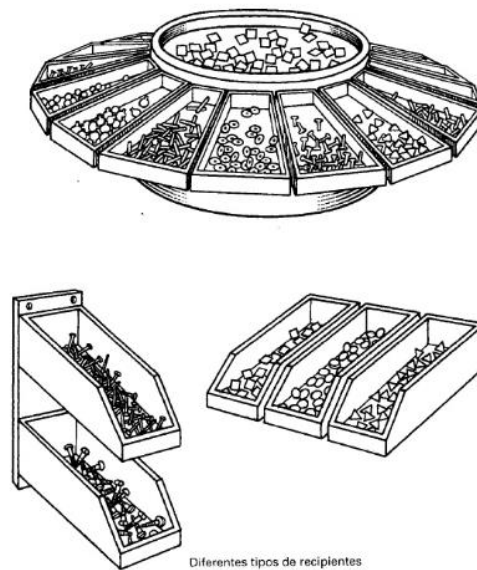
de trabajo que afecta la productividad (Macas, 2011). A continuación, en las ilustraciones No. 16 y 17 se presentan dos formas de reducir los movimientos en el puesto de trabajo.

Ilustración 16. Disposición del material en dos arcos



Fuente: Kanawaty, 1996.

Ilustración 17. Mecanismos de organización



Fuente: Kanawaty, 1996.

Como se observa en las ilustraciones No. 16 y 17 indican que, el material necesario para la operación deberá estar ubicado en dos arcos, los objetivos deben estar visibles y clasificados según el uso o tamaño, en caso de requerir, usar dispositivos de fijación, entre otros aspectos para que las manos sean usadas al mínimo.

Adicionalmente, con la aplicación de mecanismos para optimizar los movimientos, se promueve la aplicación de la ergonomía buscando adaptar un mejor espacio de trabajo. La ergonomía está orientada hacia la comodidad y bienestar de los trabajadores, en este caso, en maquinarias, herramientas, equipos y en procedimientos y lugares de trabajo (Kanawaty, 1996.).

5.3 ESTUDIO DE TIEMPOS

Gracias a la ingeniería industrial en el siglo XX se crearon técnicas para la estandarización de procesos, entre ellas el estudio de tiempos. Dicho estudio consiste en registrar el tiempo de operación de una actividad a un ritmo normal y en condiciones normales; para esto, se debe tener en cuenta los tiempos suplementarios basados en los lineamientos de la Organización Internacional de Trabajo para descansar y reducir la fatiga (Salazar, Arroyave y Ovalle, 2016). El estudio de tiempos es una herramienta que de una u otra forma contribuye a reducir el tiempo de trabajo innecesario. Con un cronómetro y un registro para anotar las observaciones son claves para llevar a cabo el estudio.

5.3.1 Etapas del Estudio de Tiempos

Para implementar el estudio de tiempos es recomendable seguir ocho etapas según Kanawaty (1996), constituyen organización y confiabilidad en el análisis al igual que las ecuaciones. En la tabla No. 8 se detallan las etapas del estudio:

Tabla 8. Etapas para realizar el estudio de tiempos

| Etapas | Descripción |
|---------------|---|
| 1 | Registrar la mayor información posible acerca de la tarea, operario, máquina y demás factores que influyen en la operación. |
| 2 | Descomponer la operación en elementos. |

| | |
|---|---|
| 3 | Examinar la descomposición y determinar el tamaño de la muestra. |
| 4 | Medir el tiempo invertido en realizar cada elemento. |
| 5 | Determinar la velocidad de trabajo. |
| 6 | Convertir los tiempos tomados en tiempos básicos: $\text{Tiempo básico} = \text{Tiempo observado} \times \text{Valoración ritmo} \quad (1)$ |
| 7 | Determinar los tiempos suplementarios para incluirlos en el tiempo básico: $\text{Tiempo suplementario} = \text{Tiempos fijos} + \text{Tiempos variables} \quad (2)$ |
| 8 | Determinar el tiempo estándar de la operación: $\text{Tiempo estándar} = \text{Tiempo básico} + \text{Tiempo suplementario} \quad (3)$ |

Fuente: Adaptado de Kanawaty, 1996.

5.3.1.1 *Tiempos suplementarios*

Los tiempos suplementarios son tiempos adicionales que utiliza el operario para compensar las demoras, retrasos, descansos y para actividades fisiológicas, pues según Mencias y Buitrón (2019) “*No es posible para un trabajador hacer su trabajo continuamente sin un descanso*” (p. 25). Independientemente del tipo de trabajo, se debe conceder un tiempo extra y se debe agregar al tiempo normal.

Dentro de los tiempos suplementarios se consideran los siguientes dos factores: tiempos fijos y variables; los tiempos fijos hacen parte de las necesidades personales o básicas y suplementos por fatiga. Por otra parte, los tiempos variables se relacionan con los suplementos por demoras especiales y el cual la investigación se apoyó a través de las tablas de tensiones relativas (Kanawaty, 1996).

Adicional a lo anterior, los suplementos por necesidades personales pertenecen al tiempo destinado a las actividades personales y fisiológicas como por ejemplo, ir al baño, comer, entre otras; por teoría, es el 5%. Los tiempos suplementarios por fatiga corresponden al 4%

y está relacionado con el estado físico y mental del trabajador. Posteriormente, los tiempos por demoras hacen referencia a la demora por maquinaria, materiales, mantenimiento, entre otros aspectos (Mencias y Buitrón, 2019).

Finalmente, este capítulo aportó elementos, herramientas y datos teóricos para llevar a cabo la investigación con una estructura soportada. Es importante mencionar también que, gracias a este contexto el entrenamiento y el conocimiento de los fundamentos básicos fueron vitales para evitar malas prácticas e ignorar procedimientos necesarios.

Adicionalmente, se pudo observar que el estudio de tiempos y la herramienta SMED cuentan con parámetros similares para recolectar datos y por medio de este estudio, las 2 metodologías fueron fusionadas con el fin de cumplir con los objetivos propuestos y completar las brechas de las herramientas.

6 REFERENTES NORMATIVOS

En el presente capítulo, se describen las principales normas nacionales e internacionales que hacen alusión al herramental en la industria metalmecánica, considerando características principales y requisitos mínimos que cumpla con los estándares según las partes del herramental y requerimientos de los clientes tanto externos como internos. Como primera medida, se encontraron las normas que hacen referencia a la fabricación y utilización de herramientas y posteriormente, la norma dirigida al proceso de cambio de herramientas.

6.1 DESCRIPCIÓN DE NORMAS PARA LOS HERRAMENTALES

En la tabla No. 9 se presentan las normatividades técnicas internacionales dirigidas a algunas partes del herramental; por ejemplo, tornillos, pasadores, resortes, entre otros.

Tabla 9. Clasificación de normas técnicas para los herramientas

| Normas | Dirigido a | Descripción |
|----------------------|---|--|
| ISO 9448-6: 2013 | Casquillos guía autolubricados | Establece las dimensiones y tolerancias principales de casquillos, en milímetros. |
| ISO 8734/DIN 6325 | Pasadores cilíndricos | Establece las dimensiones y tolerancias principales de pasadores cilíndricos. |
| ISO 7379 | Tornillos de cabeza cilíndrica hexagonal | Se establecen las dimensiones y tolerancias para los tornillos de cabeza cilíndrica hexagonal. |
| DIN 6912 | Tornillos de cabeza cilíndrica | Se establecen las dimensiones y tolerancias para los tornillos de cabeza cilíndrica. |
| ISO10243:2010 | Resortes helicoidales | Proporciona las especificaciones técnicas para la fabricación de resortes helicoidales. |

| | | |
|-----------------------------|-------------------------------|---|
| ISO 9182-5: 2013/DIN9825 | Columnas guía desmontables | Implanta las dimensiones y tolerancias principales de columnas guía desmontables, en milímetros. |
| ISO 10242-1: 2011 | Pernos roscados o vástagos | Proporciona las dimensiones y tolerancias de la capacidad de intercambio de los pernos, en milímetros. |
| UNE-1-039-94 | Dibujos técnicos | Se establecen los principios generales de acotación a los dibujos técnicos de los distintos sectores. |
| ISO 1302:2002 | Documentación técnica | Se establece la calidad superficial en la documentación técnica. |
| ISO 286-2:2010 | Agujeros y ejes | Se proporciona la relación de las distintas tolerancias para agujeros y ejes. |
| R.D. 1215/1997 | Equipos de trabajos | Se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de equipos de trabajo por parte de los trabajadores. |

Fuente: Moreno y Reig, 2018.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LA NORMA: NTC-ISO 9001: 2015

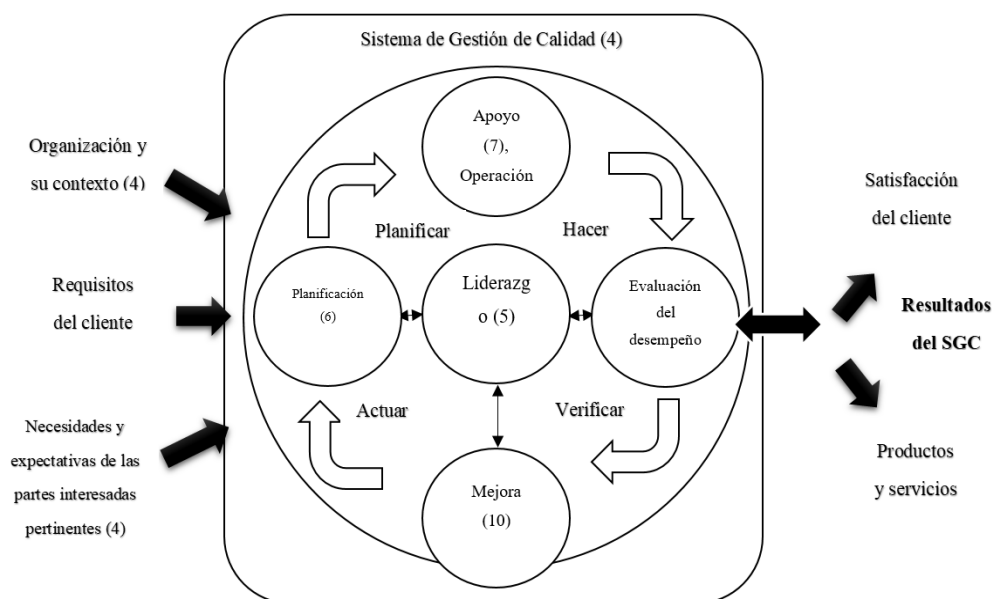
El sistema de gestión de calidad -SGC-, según la NTC-ISO 9001: 2015 establece una serie de requisitos para un uso óptimo de la calidad que, pueda reducir notablemente costos y mejorar el desempeño en la administración de la calidad dentro de las organizaciones. Este sistema internacional ofrece la máxima transparencia en la gestión de calidad, así como la seguridad de una distribución de recursos con la mayor eficiencia posible y la estandarización de procesos (ICONTEC, 2015).

La NTC-ISO 9001: 2015 se basa en el ciclo de mejora continua PHVA: Planificar-Hacer-Verificar-Actuar integrando las actividades que se desarrollen en la empresa. El modelo del

ciclo PHVA permite obtener una guía y una ruta comprendida por todos los actores de la organización, para que en poco tiempo con el mínimo de recursos y con el menor riesgo de inversión, se logren alcanzar los objetivos planteados y mejorarlos continuamente (ICONTEC, 2015).

De esta manera, el SGC se puede diseñar en cualquier empresa independiente de su tamaño, cultura y actividad industrial, siempre y cuando desee cumplir los requisitos de calidad. En la ilustración No. 18 se presentan los requisitos a evaluar en relación con el ciclo PHVA de la NTC-ISO 9001: 2015.

Ilustración 18. Modelo ciclo PHVA



Fuente: Adaptada de ICONTEC, 2015.

Con la anterior revisión de referentes normativos, se logró identificar y ampliar los conocimientos en temas legales para la fabricación y uso de los herramientas; así mismo, alinear e interpretar los requisitos normativos junto con el modelo de gestión del Sistema de Gestión de Calidad para poner en marcha el fin de las brechas del proceso de cambio de herramientas.

7 REFERENTES CONTEXTUALES

La utilización de los herramientas ha sido primordial para las industrias manufactureras, especialmente para la industria automotriz, electrodoméstica y aeronáutica, pues en el sector manufacturero requiere de mayor tecnología y personal calificado para la fabricación y reparación de herramientas (Epsilon, 2011).

Según un estudio realizado en México a finales del 2011, se visualiza la producción de herramientas, moldes plásticos y moldes de aluminio a nivel mundial, ocupando el primer puesto la producción de moldes plásticos, seguidamente los herramientas y finalmente los moldes de aluminio como se refleja en la tabla No. 10.

Tabla 10. Producción mundial de herramientas

| Comercio mundial (en millones de dólares) | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Matrices | 4.700 | 4.100 | 4.400 | 5.100 |
| Moldes de plástico | 8.700 | 7.800 | 8.200 | 9.800 |
| Moldes de aluminio | 1.350 | 1.200 | 1.250 | 1.600 |

Fuente: Epsilon, 2011.

Teniendo en cuenta lo anterior, los países que más compran herramientas, moldes de plásticos y moldes de aluminio son: Estados Unidos, Alemania y China. Estos países reflejan el 40 % de las importaciones y el valor promedio de un herramienta especializado es de 300.000 mil pesos aproximadamente (Epsilon, 2011). A continuación, se da a conocer los tipos de herramientas que se manejan en la industria y sus partes.

7.1 HERRAMENTALES

Los herramientas o conocido también como troqueles son piezas que permiten dar forma según la geometría definida por la clase de producto a fabricar, como se evidencia en la ilustración No. 19. Estas piezas se ensamblan en las máquinas prensa. El herramienta interactúa en la prensa de la siguiente manera, después de colocar el herramienta en la máquina, la prensa realiza un movimiento de forma vertical ejerciendo fuerza sobre el

herramental; este movimiento hace que la parte superior del herramental baje hasta la parte inferior y con ello, se logra el objetivo esperado (Moreno y Reig, 2018; Epsilon, 2011).

Ilustración 19. Tipos de porta matriz



Fuente: Moreno y Reig, 2018.

El herramental se puede dividir en 2 grupos. El primero es la parte superior que va unido con el cabezal de la prensa y el segundo grupo, es la parte inferior del herramental que va unido a la mesa de la prensa. A continuación, se muestra la división del herramental en la ilustración No. 20:

Ilustración 20. División del herramental



Fuente: Moreno y Reig, 2018.

7.1.1 Tipos de Herramientales

Las clases de herramientas se clasifican según la operación que se requiera; existen funciones como perforar, cortar, doblar, embutir, entre otras. También, existen herramientas que cumplen con varias operaciones a la misma vez llamados herramientas combinados (Alvarez y Alba, 2009). En la tabla No. 11 se describen las clases de herramientas más comunes:

Tabla 11. Clases de herramientas

| Tipos de herramientas | Descripción |
|------------------------------|---|
| Perforadores | Se usan para abrir agujeros. |
| Flexión y doblado | Su principal función es realizar pliegues simples o compuestos. |
| Ebutidores | Se usan para realizar formas huecas. |
| Combinados | Cumplen con el objetivo de realizar varias operaciones al mismo tiempo, es decir el herramental puede perforar y recortar en un solo golpe. Estos herramientas son llamados también híbridos o coaxiales. |
| Estampados | Se usan para grabar figuras o logotipos. |
| Acuñadores | Al igual que los estampados, se usan para grabar figuras o logotipos; la diferencia, es que se realiza por ambos lados al mismo tiempo. Por ejemplo, son usados para la obtención de monedas. |
| Rebordeados | Se utilizan para realizar rebordes curvos en piezas huecas, enrollando normalmente alambres alrededor de las piezas para mayor firmeza. |
| Cortadores | Como su nombre lo indica, se usan para cortar piezas que son difíciles de realizar por medio de cizallas o en tipo de máquina. Es uno de los |

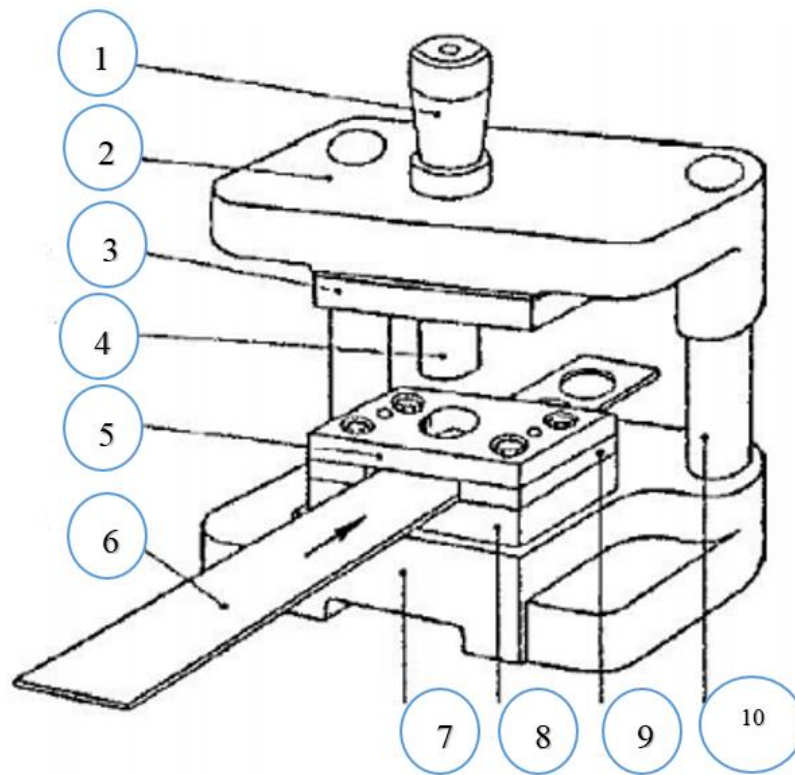
herramientales más usados en la industria
metalmecánica.

Fuente: Alvarez y Alba, 2009.

7.1.2 Partes del Herramental

Las partes de un herramental dependen de los tipos de productos a fabricar; aun así, las principales partes de un herramental son: base superior, base inferior, columnas, punzones, porta punzones, porta herramental y reglas de fijación (Alvarez y Alba, 2009; Sriyanto, Nurkertamanda y Ismail, 2012. En la ilustración No. 21 se representa un herramental tipo cortador con sus componentes más importantes.

Ilustración 21. Partes de un herramental cortador



Fuente: Como se cita en Alvarez y Alba, 2009.

Parte 1: Espiga

Parte 2: Base superior

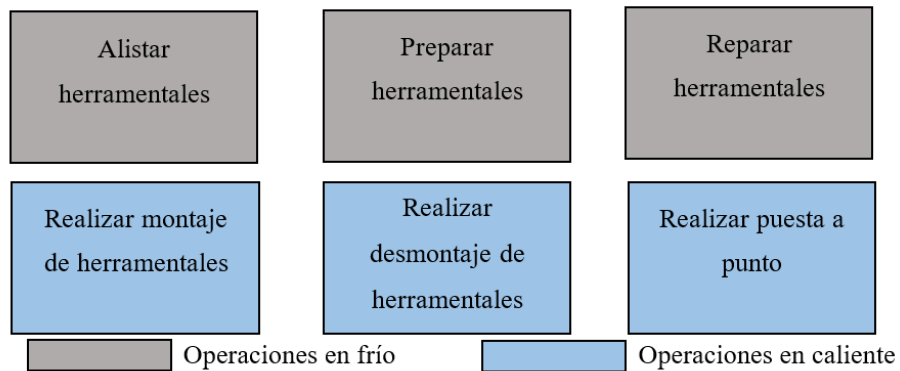
- Parte 3: Porta punzón
- Parte 4: Punzón
- Parte 5: Placa extractora
- Parte 6: Chapa
- Parte 7: Base inferior
- Parte 8: Porta matriz
- Parte 9: Reglas guía
- Parte 10: Columnas guía

7.1.3 Descripción del Proceso de Cambio de Herramientales

El proceso de cambio de herramientas en la empresa objeto de estudio es el encargado de entregar a planta el herramental a tiempo en condiciones óptimas para su buen funcionamiento y así mismo cumplir con el objetivo de darle forma al producto. El cambio de herramientas se divide en dos: en operaciones en frío y operaciones en caliente.

En primer lugar, para el proceso en frío son las operaciones de planeación cuando la línea está en proceso de fabricación. Por otra parte, el proceso en caliente del cambio de herramientas son las operaciones que se ejecutan cuando esta parada la línea; éste último, son las operaciones a las cuales se va a tomar los tiempos. En la ilustración No. 22 se despliega el proceso de cambio de herramientas identificando los elementos de forma general tanto en frío como en caliente:

Ilustración 22. Elementos generales del proceso de cambio de herramientas



Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, en la tabla No. 12 se presenta la descripción de cada una de las actividades del proceso de cambio de herramientas de la empresa objeto de estudio:

Tabla 12. Descripción del proceso de cambio de herramientas

| Elementos | Descripción |
|-------------------------------------|--|
| Alistar herramientas | Consiste en disponer los herramientas en un lugar adecuado garantizando que estén listos. |
| Preparar herramientas | De acuerdo a la programación de producción, se alista el herramental con sus respectivos elementos con el fin de revisar el estado y las dimensiones. |
| Reparar herramientas | Se refiere a la mejora físicamente del herramental. Se revisa el tiempo de uso, estado y medidas contra plano. Para el caso de la creación de un nuevo herramental, se envía la solicitud al área de Taller. |
| Realizar montaje de herramientas | Consiste en ensamblar los herramientas en las máquinas prensas. |
| Realizar desmontaje de herramientas | Consiste en desmontar los herramientas de las máquinas prensas. |
| Realizar puesta a punto | Su principal función es liberar la producción cumpliendo los estándares de calidad. En esta actividad se realiza las pruebas y el ajuste general de la línea. |

Fuente: Elaboración propia.

La industria manufacturera ha utilizado herramientas para producir una gran variedad de estampados bien sea para productos de plástico, productos de acero o para piezas fundidas. Dependiendo del tipo de producción, se escoge las operaciones y los herramientas para cumplir con los objetivos planeados.

8 OBJETIVOS

8.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer alternativas de mejoras en el proceso de cambio de herramientas utilizando SMED en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales.

8.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Caracterizar el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales.
- ❖ Determinar a través de un estudio de tiempos y movimientos el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales.
- ❖ Clasificar las operaciones internas y externas del proceso de cambio de herramientas utilizando SMED en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales.
- ❖ Proponer mejoras soportadas en un análisis de costos del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales.

9 METODOLOGÍA

En esta sección, se presenta el conjunto de métodos e instrumentos de medición según los objetivos para llevar a cabo la investigación. Como primera medida, se emplearon técnicas para la caracterización del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos de una empresa del sector metalmeccánico. Seguidamente, se determinó el estudio de tiempos y movimientos del proceso de cambio de herramientas. Luego, se clasificaron las operaciones externas e internas de acuerdo a los principios de la herramienta SMED y finalmente, se propuso mejoras a través de un análisis de costos para el proceso de cambio.

Para lo anterior, empleando los criterios de la primera fase de la metodología SMED según Gil et al., (2012) y el estudio de tiempos y movimientos. A continuación, se presenta el tipo de diseño y enfoque de investigación, la metodología y el procedimiento por cada uno de los objetivos, unidad de análisis, unidad de trabajo y la identificación de las variables de estudio.

9.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO

La metodología de la investigación fue considerada como un caso de estudio; pues, es aquella que transforma conocimientos o métodos dirigidos al sector productivo, especialmente a una empresa del sector metalmeccánico de Manizales, Caldas, Colombia.

La investigación desarrollada fue de enfoque cuantitativo con diseño trasversal y se llevó a cabo en un periodo de un año y 5 meses; de febrero a junio de 2019 se realizó la estructura del proyecto y la revisión sistemática de literatura; de julio a agosto del mismo año se realizó la recolección de datos en la planta de producción de la empresa en estudio; posteriormente, entre septiembre de 2019 a mayo de 2020 se analizaron los datos obtenidos y de junio a julio de 2020 se organizaron las propuestas de mejoras y organización final de la investigación.

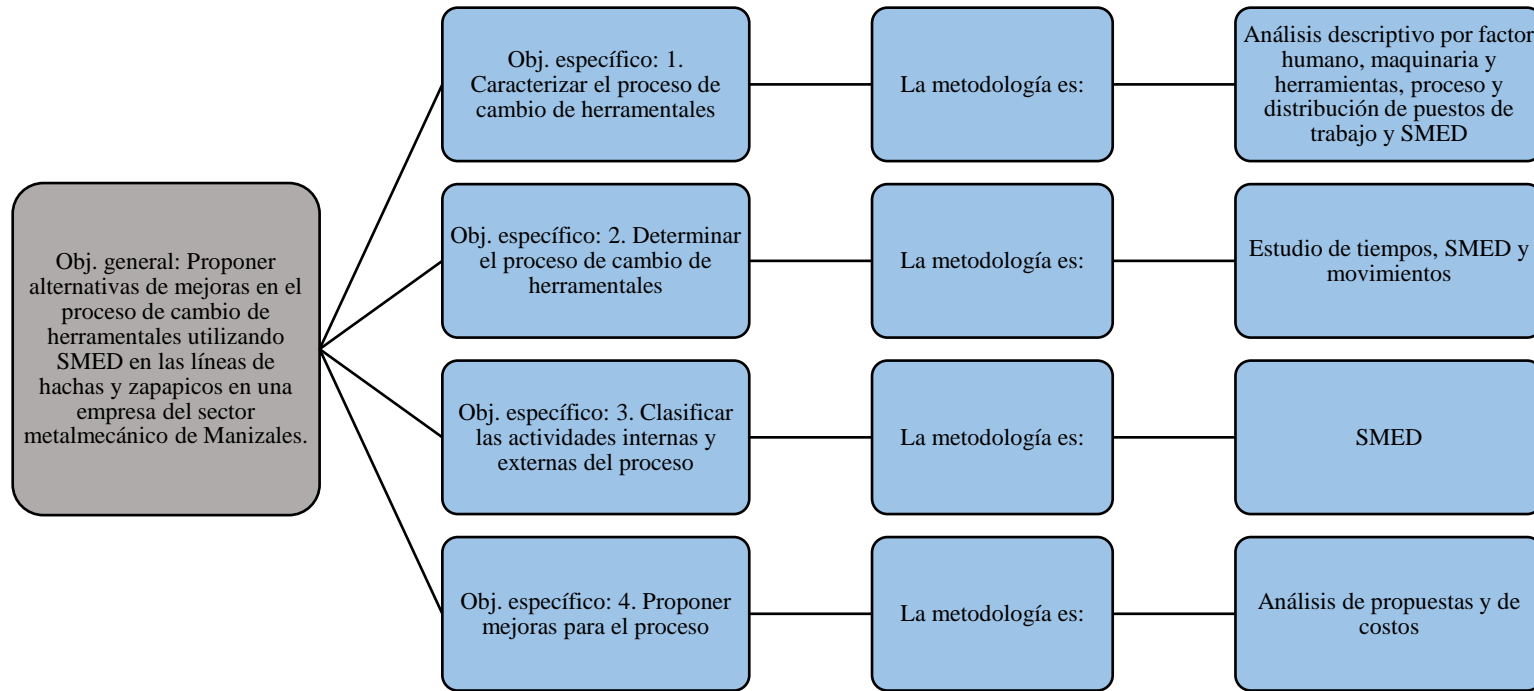
Durante el tiempo de recolección de datos, se obtuvo información de seis cambios diurnos entre referencias de zapapicos vs hachas, hachas vs hachas y zapapicos vs zapapicos, en las cuales las variables de estudio fueron principalmente los tiempos y movimientos y variables

secundarias como herramientas de apoyo, tipo de producto, insumos y tiempo de experiencia del operario.

Desde la empresa objeto de estudio, se pudo obtener la información pertinente, veraz y sin restricciones para el desarrollo de la presente investigación. Asimismo, fueron importantes las entrevistas y el contacto directo con los operarios y personal involucrado con el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos.

En la ilustración No. 23, se detalla el proceso metodológico por objetivos desarrollado para el análisis de las variables de estudio en el proceso de cambio de herramientas. En la metodología, se presentan las diferentes fases de estudio como fue la caracterización, el estudio tiempos y movimientos, aplicación de la herramienta SMED y la identificación de alternativas que se destacaron en la investigación soportadas a través de un análisis de costos. Cabe resaltar que, los pasos del SMED según Gil et al., (2012) fue transversal en el proceso metodológico.

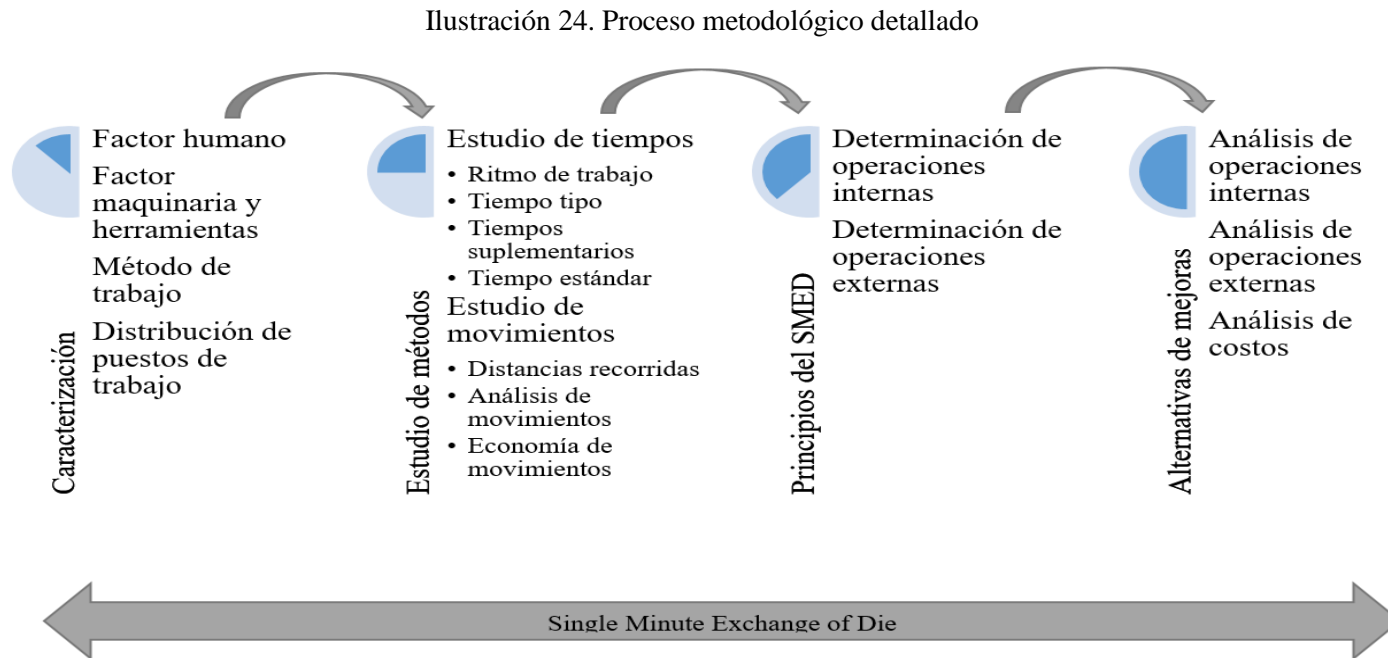
Ilustración 23. Proceso metodológico por objetivos



Fuente: Elaboración propia.

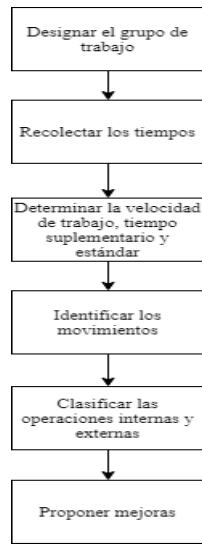
9.2 ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS

Para alcanzar las propuestas de alternativas de mejoras en el proceso de cambio de herramientas utilizando SMED en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales, se estableció una metodología detallada por cada uno de los objetivos como se presentan en las ilustraciones No. 24 y No. 25 obteniendo de esta manera, una sinergia entre el estudio de métodos y la herramienta de Lean Manufacturing. Adicionalmente, aportando una nueva metodología al componente de investigación.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 25. Proceso metodológico en flujo



Fuente: Elaboración propia.

9.3 UNIDAD DE TRABAJO Y ANÁLISIS

La unidad de trabajo fue en una empresa del sector metalmecánico de Manizales, Caldas, Colombia; en la región centro sur del departamento y la unidad de análisis fue el proceso de cambio de herramientas de la máquina Wagner de las líneas de hachas y zapapicos. Para ello, fue autorizado realizar el estudio a través del consentimiento informado, el cual contempla el desarrollo y divulgación de la investigación de forma anonimato para cuidar los intereses de la organización.

Las líneas mencionadas anteriormente, hacen parte de herramientas propias del sector construcción, agrícola y minero para labranza y corte de piezas pequeñas como también, la demolición de piedra y hacer zanjas.

Se debe resaltar que, fue indispensable el contacto directo por medio de diálogos, entrevistas informales y reuniones para conocer de cerca el proceso y tener información detallada de cada una de las actividades de la operación y sus experiencias. Teniendo en cuenta lo anterior, se establecieron datos identificativos para cada una de las líneas de producción tal como se observa en la tabla No. 13.

Tabla 13. Datos representativos de las líneas de producción

| Descripción | Línea de zapapicos | Línea de hachas |
|--|---|--|
| Lugar | Planta de producción de la empresa objeto de estudio (ver ilustración No. 25). | Planta de producción de la empresa objeto de estudio (ver ilustración No. 25). |
| Horario de turno | <ol style="list-style-type: none"> 1. 6:00am a 2:00pm 2. 2:00pm a 10:00pm 3. 10:00pm a 6:00am | <ol style="list-style-type: none"> 1. 6:00am a 2:00pm 2. 2:00pm a 10:00pm 3. 10:00pm a 6:00am |
| Referencias por cambio | <ol style="list-style-type: none"> 1. De 3105 de 5lb a 3105 de 7lb 2. De 3100 de 5lb a 3105 de 5lb 3. De 3105 de 5lb a 3105 de 1.5lb | <ol style="list-style-type: none"> 1. De 3105 de 4.5 lb a 4315 de 5lb (Zapapico a Hacha) 2. De 4311 de 3lb a 4310 de 4lb 3. De 4313 de 3.5 lb a 4313 de 6lb |
| Unidades producidas | <ol style="list-style-type: none"> 1. 3105 de 7lb: 2,226 2. 3105 de 5lb: 16,843 3. 3105 de 1.5lb: 118 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 4315 de 5lb: 171 2. 4310 de 4lb: 555 3. 4313 de 6lb: 300 |
| Número de operarios en máquina Wagner | 2 | 2 |
| Área de apoyo para el cambio | Troquelaría | Troquelaría |
| Metodología | Toma de tiempos desde la última pieza buena hasta la primera pieza buena. | Toma de tiempos desde la última pieza buena hasta la primera pieza buena. |

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 26. Máquina Wagner en las líneas de hachas y zapapicos



Fuente: Elaboración propia.

Se escogieron todos los operarios de la máquina Wagner en razón a que, cuentan con experiencia mayor a 1 año en el proceso y sin considerar, edad y condiciones físicas; además porque es la máquina que más tiempo toma para hacer el cambio de herramientas. Por otra parte, por medio de la estandarización del proceso de cambio de herramientas, se realizó una caracterización de las principales entradas que, en caso tal no influyan adecuadamente afectan directamente el proceso como son herramientas, materia prima, herramientas de apoyo, mantenimiento de la máquina y la experiencia del personal operativo. Lo anterior, se tuvo en cuenta para el diseño de las propuestas de mejoras.

9.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la tabla No. 14, se observa la relación de las variables de estudio para la investigación referenciando la descripción, la unidad de medida, tipo de instrumento de medición y frecuencia; además, del periodo de recolección de datos y de análisis. Lo anterior, para definición de los procedimientos de análisis y de recopilación de información.

Tabla 14. Relación de las variables de estudio

| Variable | Concepto | Unidad de medida | Instrumento de medición | Período de recolección de datos | Período de análisis | Frecuencia |
|-----------------|---|-------------------------|--|--|-----------------------------|-------------------|
| Tiempo | Es el tiempo de trabajo que tarda un operario en realizar cada elemento de operación en condiciones normales. | Minutos | Dos cámaras de video y una cámara de seguridad de la empresa | Julio 2019 a Agosto 2019 | Septiembre 2019 a Mayo 2020 | Semanal |
| Movimientos | Es el desplazamiento que realiza un operario para ejecutar una operación. | Metros | Metro | Julio 2019 a Agosto 2019 | Septiembre 2019 a Mayo 2020 | Semanal |

Fuente: Elaboración propia.

Los instrumentos de medición usados fueron algunos de los recursos tecnológicos con los que cuenta la Universidad Autónoma de Manizales y una cámara de seguridad de la empresa objeto de estudio, ubicada sobre la línea de hachas y zapapicos para mayor veracidad y detalle de la información. De esta manera, se filmó el proceso de cambio de herramientas con una cámara digital filmadora full HD CANON HFR62 a una velocidad definida y con 28 Mbps progresivos ayudan a asegurar una alta calidad de fotografía de sujetos en movimiento. Para la toma de datos, se contó inicialmente con el apoyo de 2 estudiantes de ingeniería industrial adscritas al Semillero de Investigación “Diseño Mecánico y Desarrollo Industrial” de la Universidad Autónoma de Manizales. Gracias al convenio entre la Universidad Autónoma de Manizales y la empresa de estudio, las estudiantes pudieron acceder a la planta de producción las veces necesarias para obtener la información primaria de la investigación.

9.5 PROCEDIMIENTOS

En la tabla No. 15, se evidencia el procedimiento que se realizó para cumplir con cada objetivo propuesto durante la etapa de recolección y análisis de datos para el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos:

Tabla 15. Procedimientos por objetivos

| Objetivos | Metodologías | Herramientas usadas | Procedimientos |
|---|---|---|---|
| Caracterizar el proceso de cambio de herramientas | Análisis descriptivo por factor humano, maquinaria y herramientas, proceso y distribución de puestos de trabajo y SMED. | Cámaras, diálogos, entrevistas, observación, revisión de documentos, medios de control y la identificación de entradas y las salidas del proceso. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se designó el grupo de trabajo, el cual fue formado por el área de troquelería de la empresa objeto de estudio y los investigadores de la Universidad Autónoma de Manizales. 2. Se planificó el rango de fechas de recolección de datos y seguimiento. Para las fechas de toma de tiempos, se tuvo en cuenta que fueran cambios significativos y de mayor relevancia. 3. Se visitó la planta de producción para conocer el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y, zapapicos y conocer su entorno. Fue indispensable el contacto directo por medio de |

cámaras, diálogos, entrevistas, observación y la estandarización del proceso para conocer de cerca el proceso y lograr tener información detallada de cada una de las actividades de la operación y sus necesidades.

4. Se tomaron los tiempos de acuerdo a la ecuación de muestras (4) por (Kanawaty, 1996) teniendo en cuenta que, el tiempo por cambio estaba dado desde la última pieza buena del producto A a la primera pieza buena del producto B:

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

(4)

En donde:

n = Tamaño de la muestra a determinar

n' = Número de observaciones del estudio preliminar

\sum = Suma de los valores

x = Valor de las observaciones

Para este punto, se usaron las cámaras de vídeo y se apoyó con la cámara de seguridad de la empresa objeto de estudio. Estos datos fueron registrados en el cursograma analítico identificando la línea, el tipo de referencia, las herramientas utilizadas, distancia recorrida y las personas que intervienen en este proceso.

5. La información se organizó por factores, tales como: factor humano, maquinaria y herramientas, proceso y distribución de puestos de trabajo. Para lo anterior, se usó técnicas de diagramación propias de la ingeniería industrial, como lo fue: el diagrama de recorrido y el cursograma analítico para describir la situación actual del proceso objeto de estudio. Además, del análisis de costos por medio del programa Excel.

| | | | |
|---|----------------------------------|--|--|
| <p>Determinar un estudio de tiempos y movimientos del proceso de cambio</p> | <p>Estudio de tiempos y SMED</p> | <p>Cámaras de vídeo, metro y formato cursograma analítico anexo No. 2.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se determinó que, la velocidad de trabajo en esta operación fue en condiciones normales, siendo establecido en un 100 %. 2. Se convirtieron los tiempos observados en tiempos básicos gracias a la ecuación (1) de (Kanawaty, 1996). 3. Se determinaron los tiempos suplementos divididos en tiempos fijos y variables. Para los tiempos fijos, se asignaron el 4% por fatiga y por necesidades personales el 5% del total de la operación y para los tiempos variables, se tuvieron en cuenta las tablas de tensiones relativas y la conversión de puntos extraída de (Kanawaty, 1996) para cada operación del proceso. 4. Finalmente, se determinó el tiempo estándar de la operación con la ecuación (3) de (Kanawaty, 1996). |
|---|----------------------------------|--|--|

Es de resaltar que, se realizó una fusión de los pasos del estudio de

tiempo con la primera etapa de la herramienta SMED propuesto por Gil et. al., 2012. Lo anterior, en razón a que algunos pasos eran similares y se complementaban.

Adicionalmente, los tiempos se tomaron desde la última pieza buena hasta la primera pieza buena de la nueva referencia.

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| <p>Estudio de movimientos</p> | <p>Cámaras de vídeo, metro, diagrama de recorrido y formato cursograma analítico anexo No. 2.</p> | <p>En el estudio de movimientos,</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se identificaron los diferentes métodos utilizados para realizar la operación de montaje y desmontaje, los cuales hacen parte a los movimientos ejecutados con las manos diferenciando el tipo de forma (individual o grupal). 2. Posteriormente, se identificaron los macromovimientos por cada cambio y fueron registrados en el cursograma analítico y representado en el diagrama de recorrido. 3. Se analizaron los macromovimientos según los |
|-------------------------------|---|---|

principios fundamentales
planteados por (Kanawaty,
1996).

Clasificar las
actividades
internas y externas
del proceso

SMED

Cámaras de
video, formato
cursograma
analítico anexo
No. 2 y
programa
Excel

1. Se analizaron y se identificaron cuáles podrían ser las operaciones internas y externas del método actual. Lo anterior, se logró gracias a los principios de la herramienta SMED.
2. Se separaron las operaciones internas y externas con el objetivo de buscar propuestas de mejoras que permitieran reducir el tiempo de cambio de herramientas y fuera reflejado en un porcentaje de ahorro en el aspecto monetario.

| | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|---|--|
| Proponer mejoras para el proceso | Análisis de propuestas y de costos | Cámaras de video, formato cursograma analítico anexo No. 2, programa inventor, SketchUp y draw.oi | <ol style="list-style-type: none"> 1. Con la ayuda del anterior objetivo, se clasificaron las operaciones internas y externas para el método propuesto. Lo anterior, se logró de igual manera, gracias a los principios de la herramienta SMED y según los criterios del autor Gil et. al., 2012. 2. Se clasificaron las operaciones de mayor participación (mayor consumo de tiempo) y las operaciones internas que se determinaron en el método actual, las cuales deberían de ser transformadas. 3. Se analizó cada operación interna y externa del método propuesto con el de objetivo de examinar y plantear las posibles alternativas según los criterios de los autores citados en la revisión sistemática de literatura. No obstante, se tuvo en cuenta también las necesidades de la empresa en estudio. |
|----------------------------------|------------------------------------|---|--|

4. Se determinaron las propuestas de mejoras para limitar las actividades de cuadrar altura, buscar, calentar, inspeccionar, atornillar, quitar herramientas y poner a punto; sin olvidar, lo siguiente:
 - Proponer ideas para transformas las operaciones internas en externas.
 - Proponer ideas para racionalizar las operaciones internas restantes.
 - Proponer ideas para racionalizar las operaciones externas.
5. Se analizaron los tiempos del método actual vs el método propuesto.
6. Se determinaron los costos actuales vs los costos del método propuesto con relación a la reducción del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

La información obtenida fue sistematizada y procesada a través del programa Excel. La tabulación de los datos y su correspondiente interpretación se realizó a través de análisis como tablas dinámicas, cuyos resultados se presentan utilizando gráficos de barras y

diagramas circulares; permitiendo de esta manera, identificar y describir fenómenos, situaciones y comportamientos para cada uno de los objetivos. El análisis se complementó con información expresada por las personas involucradas directamente en el proceso.

Se utilizaron técnicas de ingeniería industrial como diagrama de flujo, diagrama de recorrido, cursograma analítica y caracterización de procesos. Se diseñaron propuestas en el Software Inventor, SketchUp y se hicieron bocetos en el programa de diseño draw.oi.

En conclusión, en este capítulo se establecieron los procedimientos para la toma de tiempos, métodos, instrumentos de medición y permisos para obtener la información necesaria y cumplir con los objetivos propuestos y se determinó el análisis tipo descriptivo con la ayuda de herramientas gráficas de ingeniería industrial como lo fue el plano, distribución de puesto de trabajo y máquina.

10 RESULTADOS

En este capítulo, se evidencian los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos propuestos. Se detalló la caracterización del proceso de cambio de herramientas, el estudio de tiempos y movimientos contemplados en cada uno de los elementos del cambio. Se identificaron y se establecieron alternativas de mejoras para el proceso según la caracterización y el análisis de costos.

10.1 CARACTERIZACIÓN PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES

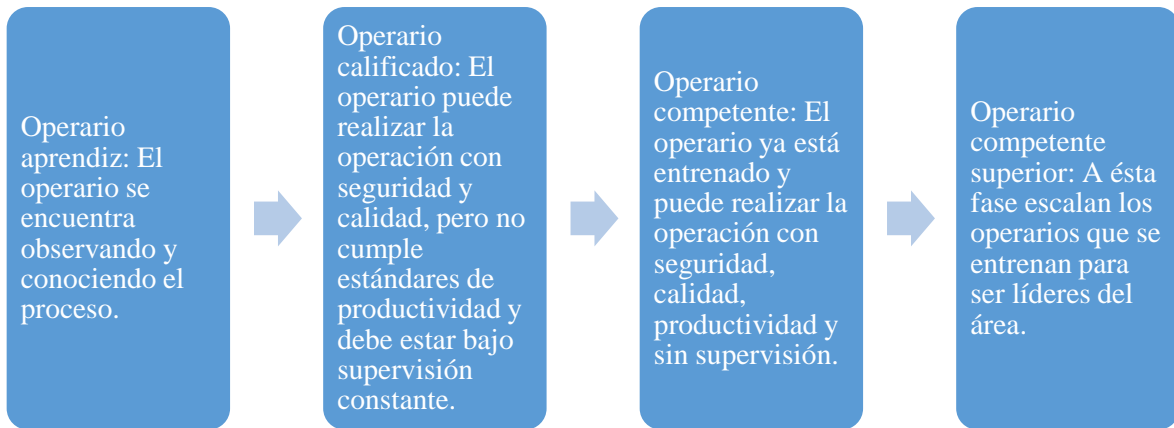
Para dar respuesta al primer objetivo específico, que consiste en caracterizar el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmecánico de Manizales a continuación se describe los componentes del sistema de trabajo que influyen en el proceso actualmente: el factor humano, maquinaria y herramientas, proceso y distribución del puesto de trabajo.

10.1.1 Operarios

La empresa objeto de estudio cuenta con 16 operarios y 2 mecánicos, los cuales son los encargados del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos divididos en turnos. Los operarios son los encargados de realizar el desmontaje, montaje y puesta a punto de herramientas y los mecánicos de velar por el cumplimiento de insumos y apoyar en el cambio.

Los operarios cuentan con capacitaciones y entrenamientos especializados con respecto a la tarea que realizan dentro de la empresa. Una característica muy importante a destacar es que se realiza una evaluación del desempeño de cada uno de los operarios que es realizado por el supervisor de planta, quien es la persona encargada de que se cumpla a cabalidad cada actividad buscando obtener el cumplimiento del proceso planeado y un buen producto que satisfaga a los clientes y con las especificaciones planteadas por la empresa. El entrenamiento cuenta con 4 fases como se muestra en la ilustración No. 27:

Ilustración 27. Tipos de competencia



Fuente: Elaboración propia.

Habría que decir también que, después de que la persona se encuentra en la tercera fase, puede acceder a una nivelación salarial siempre y cuando cumpla con el entrenamiento estandarizado y el tiempo requerido. Los operarios mencionados anteriormente, fueron clasificados de acuerdo al nivel de competencia, nivel de formación y tiempo de permanencia en la empresa. Lo anterior, se resume en la tabla No. 16.

Tabla 16. Nivel de competencia de los operarios

| Operarios | Categoría | Nivel de formación | Tiempo de permanencia (años) |
|-------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Operario 1 | Operario competente | Bachiller | 4 |
| Operario 2 | Operario competente | Bachiller | 19 |
| Operario 3 | Operario competente | Bachiller | 18 |
| Operario 4 | Operario competente | Bachiller | 4 |
| Operario 5 | Operario competente | Bachiller | 5 |
| Operario 6 | Operario competente | Bachiller | 21 |
| Operario 7 | Operario competente | Bachiller | 4 |
| Operario 8 | Operario competente | Bachiller | 3 |
| Operario 9 | Operario competente | Bachiller | 4 |

| | | | |
|--------------------|---------------------|-----------|----|
| Operario 10 | Operario competente | Bachiller | 15 |
| Operario 11 | Operario competente | Bachiller | 27 |
| Operario 12 | Operario competente | Bachiller | 4 |
| Operario 13 | Operario competente | Bachiller | 21 |
| Operario 14 | Operario competente | Bachiller | 39 |
| Operario 15 | Operario competente | Bachiller | 1 |
| Operario 16 | Operario competente | Bachiller | 20 |

Fuente: Elaboración propia.


Según la tabla No. 16, todos los operarios pertenecen al nivel competente, es decir, todos pueden realizar la operación con seguridad y sin supervisión. Además, los operarios en promedio tienen experiencia de 13 años; esto hace referencia, a que el operario ha trabajado y en gran medida conoce durante años el proceso de cambio como también otras áreas de trabajo en la planta.

Es de indicar que, el personal operativo cuenta con ventilador, overol, gafas de seguridad, botas con puntera, orejeras y guantes carnaza. Se brindan descansos de 5 a 10 minutos y el bienestar de los operarios es adecuado; la empresa brinda comedor, lockers, baños, lavamanos, estufa y beneficios. Este último hace referencia a auxiliares escolares, de estudio y mejora de vivienda.

10.1.2 Máquinas y Herramientas

La empresa cuenta con seis máquinas para las líneas de hachas y zapapicos más el horno de fundición que es utilizado para ambas; pese a que es el mismo número de máquinas, existen algunas que son diferentes dependiendo de la línea. Para la línea de zapapicos, las máquinas usadas son: Wagner, 2 laminadores, Richter, Arisa y Pacific y para la línea de hachas son: Wagner, Martinelly, 1 laminador, Richter, Arisa y Pacific. En la tabla No. 17 se describe el uso de cada máquina de acuerdo al orden del proceso de producción.

Tabla 17. Identificación de máquinas

| Máquinas | Descripción |
|--|---|
| Horno de fundición | Cumple con la función de calentar el acero a 1000°C. Lo anterior, para poner a punto o para calentar herramientas, tal como se muestra a continuación: |
|  |  |
| Wagner | La principal función es darle forma (estampar) la materia prima. A parte de ser la primera máquina, es la más importante puesto que tiene 2 o más pasos dependiendo de la referencia y así mismo, su complejidad en el cambio. Por lo anterior, hace que tome mucho más tiempo del cambio en razón a las demás y fue a la que se le tomó los tiempos. |
|  | Este paso es usado para desbardar el ojo del hacha, es decir, retirar material sobrante por el lado (angosto) donde se encuentra el orificio del hacha. Esta máquina solo es usada para la producción de hachas. |



Laminadores

Los laminadores sirven para alargar el material (laminar). Para hachas solo se usa un solo laminador como se muestra en la imagen. En cambio, para zapapicos se usan las 2 máquinas laminadoras, una para el pico y la otra para la pala.



Richter



Cumple con la función de cortar el sobrante (ancho) de la pieza; es por ello que a esta máquina se le denomina la cortadora. Luego, el retal es retirado y puesto en canastas justo al frente de la máquina.

Arisa



Este paso es para destaponar el ojo del hacha o zapapico. Es importante esta operación puesto que el ojo (conocido también como óvalo) debe quedar alineado con el punzón destaponador, pues las medidas deben de ser iguales.

Pacific



La prensa de marca Pacific cuya función es enderezar la pieza y de dar la marca (sello).

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en el cambio de herramientas es indispensable el uso de herramientas de apoyo y especialmente, de herramientas manuales como llaves combinadas, llaves hexagonales, semineumática, barra, almádana, tubo para formar palanca y apretar, entre otras. En la tabla No. 18, se describen las herramientas usadas en las operaciones del proceso de cambio.

Tabla 18. Identificación de herramientas de apoyo

| Operaciones | Herramientas de apoyo |
|-----------------------------------|---|
| Desmontaje/Montaje/Puesta a punto | <p>-Llaves hexagonales (en L) de diferentes tamaños: Se usan para desatornillar o atornillar.</p> |
| |  |
| |  |
| |  |
| | <p>-Llave semineumática de diferentes tamaños: El uso es el mismo de una llave en L pero más cuando la operación es repetitiva con la mano para el aflojar o apretar. Se identifica que con esta llave es más ágil que con la llave en L.</p> |



-Almádana: Permite dar golpes al herramental para encajar o desencajar debido a que no desliza la materia prima.



-Barra: Se usa para levantar herramentales. Se forma una especie de palanca para subir el herramental posiblemente para bajar el herramental o sacar un tornillo como se observa en la imagen.



-Tubo: Permite formar una especie de palanca para apretar o quitar los herramentales tal como se refleja en la foto.



-Aire comprimido: Se usa para remover los residuos con aire a presión como por ejemplo quitar la cascarilla.



Calentar

Pinzas largas: Sirven para agarrar el material caliente.



Fuente: Elaboración propia.

10.1.3 El Proceso

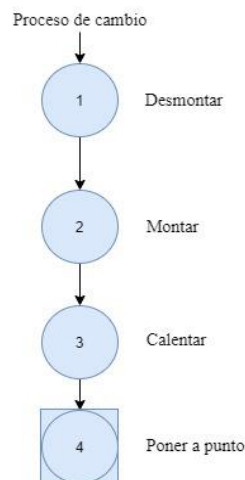
El trabajo de campo tuvo una duración consolidada de 30 días, de los cuales 16 días fueron destinados a la revisión y comprensión del proceso de cambio de herramientas en las

líneas de hachas y zapapicos a través de la tecnología blanda; durante 4 días antes y después de las muestras se observó el funcionamiento real del proceso y el resto fueron dedicados a la toma de datos que, según la ecuación (4) fueron seis observaciones.

Una vez se inició el trabajo de campo, se explicó a cada operario el objetivo del estudio y el acompañamiento en el proceso para la investigación con su debida autorización de consentimiento informado. Gracias al trabajo realizado, se encontraron que las operaciones eran: desmontar, montar, calentar y realizar la puesta a punto tal como se observa en la ilustración No. 28.

Dentro de cada operación, se pudo evidenciar que hace parte desplazamientos, reprocesos, reparación de herramientas, esperas no identificadas, limpieza, diálogos del proceso, búsquedas de herramientas de trabajo y en pocos casos, existencia de trabajo en paralelo con las demás máquinas debido a que la investigación sólo se concentró en los datos en la primera máquina, pues según información de la empresa es la que toma el mayor tiempo de cambio dado al mayor número los pasos de troquelación, es decir, la máquina Wagner es la que cuenta con más operaciones de producción.

Ilustración 28. Flujo del proceso de cambio de herramientas

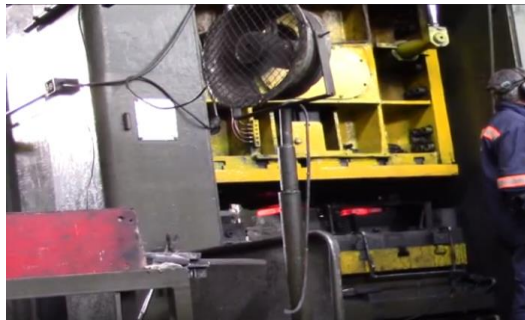


Fuente: Elaboración propia.

Se observó que, la actividad de calentamiento bien sea de materia prima o herramientas fue interesante, pues al calentar la materia prima es muy mínimo el tiempo que tarda en

obtener la temperatura deseada (2 minutos aprox.). En cambio, para el calentamiento de herramientas es más prolongado el tiempo; en algunos casos, alcanzando más de 20 minutos exclusivamente para la máquina Wagner y es producido porque son los pasos de producción donde la materia prima sufre mayor deformación y con el fin de no reventar el herramental como se observa en la ilustración No. 29. Es de resaltar que, sólo es realizado en la primera máquina y las veces que sea necesario durante el mismo proceso de cambio (2 veces aprox.).

Ilustración 29. Calentamiento de herramientas



Fuente: Elaboración propia.

Se pudo identificar que, siempre existía el proceso de alistamiento anticipado al montaje lo cual fue una gran ventaja, sin embargo, el proceso de puesta a punto siempre representó el mayor tiempo del proceso de cambio. Lo anterior, debido a actividades no coordinadas y no estandarizadas puesto que no es un proceso nuevo, ha sido realizado por más de 50 años, pero con la característica que es proceso manual dependiendo exclusivamente de la experticia del operario. En la tabla No. 19, se describe cada operación que conforma una jornada de trabajo en el proceso de cambio de herramientas en cualquiera de las 2 líneas.

Tabla 19. Descripción detallada de las operaciones

| Operaciones | Descripción | Responsables | Clasificación |
|-------------|---|---|--------------------------|
| Desmontaje | <p>Consiste en quitar/cambiar los herramientas de las máquinas prensas bien sea algunas partes o todo el paquete de herramientas.</p> | <p>La máquina Wagner cuenta con 2 operarios encargados de realizar el proceso de cambio de herramental es y quienes están entrenados; aun así, se cuenta siempre con el mecánico, quien debe velar principalmente que las partes del cambio estén en buen estado,</p> | <p>Manual Repetitivo</p> |



exista un
alistamiento
y cuando no
haya turno,
realizar el
cambio.

Montaje



Consiste en
ubicar los
herramientales de
las máquinas
prensas bien sea
algunas partes o
todo el paquete de
herramientales.

Manual
Repetiti
vo

Calentar



Se refiere al
sometimiento de
la materia prima a
1000°C
aproximadamente
y luego poner a
calentar los
herramientales a
través de la
materia prima
(MP en medio de
herramientales).
Lo anterior
sucede porque en
la primera

Variabl
e

| | | |
|---------------|--|---|
| | máquina es donde sufre mayor deformidad de la materia prima. | |
| Poner a punto | Su principal función es liberar/ajustar la producción cumpliendo los estándares de calidad. En esta actividad se realiza múltiples pruebas como también, se observa que en esta operación se tiene pasos de desmontaje y montaje. | Domina nte Repetiti vo Manual |



Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior no quiere decir que, no existan actividades que se presentan en medio de la operación como lo son los desplazamientos, organización, limpieza, comunicación y toma de medidas. A continuación, se describe cada uno; los desplazamientos se refieren a los pasos (movimientos) para recoger o dejar un herramental sobre la mesa o almacén de troquelaría; como también el movimiento para buscar una herramienta de apoyo.

De acuerdo a la tabla No. 19, se clasificó las operaciones como manuales, repetitivas, variables y dominantes; para ésta clasificación, se consideraron parámetros establecidos según la literatura. En los elementos manuales, el trabajador realiza las actividades sin la

ayuda de herramientas mecánicas; los repetitivos reaparecen en cada ciclo de trabajo; los variables son los que su tiempo de ejecución cambia según las características de la operación y finalmente, los dominantes son aquellos que duran más tiempo que cualquier otro elemento dentro de la operación.

Teniendo en cuenta lo anterior, la clasificación para la puesta a punto fue dominante, repetitivo y manual a razón de que es una operación en la que fusiona todas las demás operaciones en pequeña escala.

Seguidamente, la organización del proceso de cambio consiste en despejar del área de trabajo de cualquier herramienta que no sirva. Así mismo, ubicar de forma correcta los elementos necesarios para hacer el proceso. La limpieza cumple con la función de liberar de residuos como la cascarilla que arroja la materia prima quedando en medio de los herramientas.

Adicionalmente, la comunicación se trata de dialogar con el resto de operarios, ingenieros y mecánicos de mantenimientos sobre los cambios y posibles fallas; finalmente, tomar medidas a la altura de los herramientas y alinear.

Por otra parte, se identificó que para el proceso de cambio se requieren unas entradas, las cuales fueron:

- ❖ Materia prima identificado
- ❖ Herramientales óptimos
- ❖ Herramientas de apoyo identificadas
- ❖ Personal operativo capacitado

Estas entradas afectan directamente el tiempo de cambio como reproceso o a favor disminuyendo dicho tiempo. Lo anterior quiere decir que, éstas juegan un papel primordial en el proceso puesto que si alguna de ellas no está lista el tiempo de cambio va a ser mayor del tiempo normal, a lo que se define por la falta de coordinación y organización. En algunos casos, se presentó que la materia prima estaba revuelta con diferentes dimensiones

y cuando esto surge, se debe hacer cambio de horno de fundición porque no cabe o cambiar herramientas o ajustar (soldar, pulir) los herramientas ensamblados.

En otros casos, también se evidenció la falta de herramientas de apoyo previamente listas e identificadas. Para esto, se tenía que ir el operario y/o mecánico de línea a buscar al almacén de troquelería, cajones o canecas que se encuentran detrás de las máquinas o hasta los puestos de trabajo de las otras máquinas para encontrar la herramienta necesaria.

De otro punto de vista, se analizó la participación de cada operación dentro del proceso de cambio diferenciando el tipo de referencia y las variaciones que conlleva el proceso. A continuación, se exponen los seis cambios; el primer cambio de referencia fue de zapapicos 3105 de 5lb a zapapicos 3105 de 7lb; para esto se debe cambiar dado superior e inferior para los pasos 1 y 2 y para el paso 3 el dado inferior.

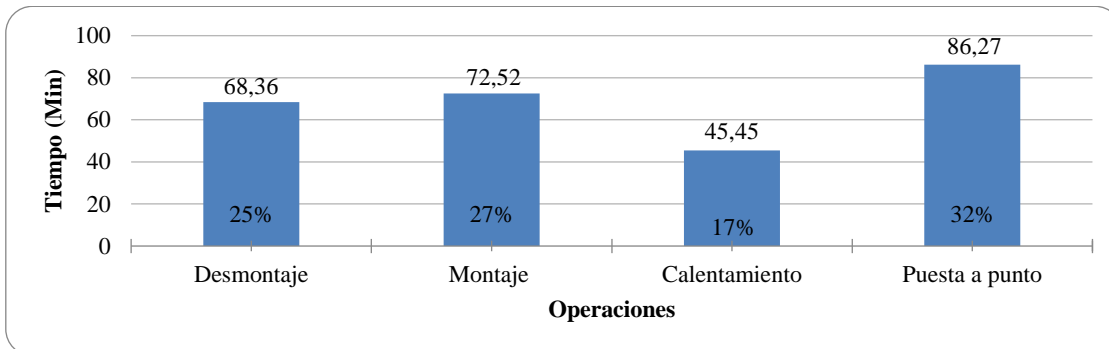
En la imagen No. 30, se muestra la pieza final del zapapico 3105 de 7lb siendo muy parecido al de 5lb con la diferencia que es más pequeño y en la tabla No. 20 se observa la participación de las operaciones durante este cambio.

Ilustración 30. Foto de zapapico 3105 de 7lb a zapapicos 3105 de 7lb



Fuente: Empresa estudio de caso, 2019.

Tabla 20. Participación de operaciones para el cambio de zapapicos 3105 de 5lb a zapapicos 3105 de 7lb



Fuente: Elaboración propia.

Para este primer cambio, se observa que el 32 % de participación fue para la puesta a punto debido a la cantidad de ajustes que se realizaron por no obtener la altura deseada de los herramientas haciendo montajes de platina, medición de altura y, en consecuencia, múltiples calentamientos de materia prima, herramientas y sacando preserie. Se debe tener una altura y alineado óptimo para que los herramientas superiores, especialmente dado punzón llene o marque el óvalo de la pieza y no quede asimétrico.

Para el segundo cambio, la referencia fue de zapapicos 3100 de 5lb a zapapicos 3105 de 5lb. La diferencia es 480mm de ancho x 230mm de largo de pala x 230mm de largo de punta con respecto a 467mm de ancho x 200mm de largo de pala x 210mm de largo de punta x 108mm de ancho de pala; para esto se cambió la guitarra, dados superior e inferior y corta punzón del paso 2 y dados superior e inferior del paso 3. En la imagen No. 31, se muestra la pieza final del zapapico 3105 y en la tabla No. 21 se observa la participación de elementos durante este cambio.

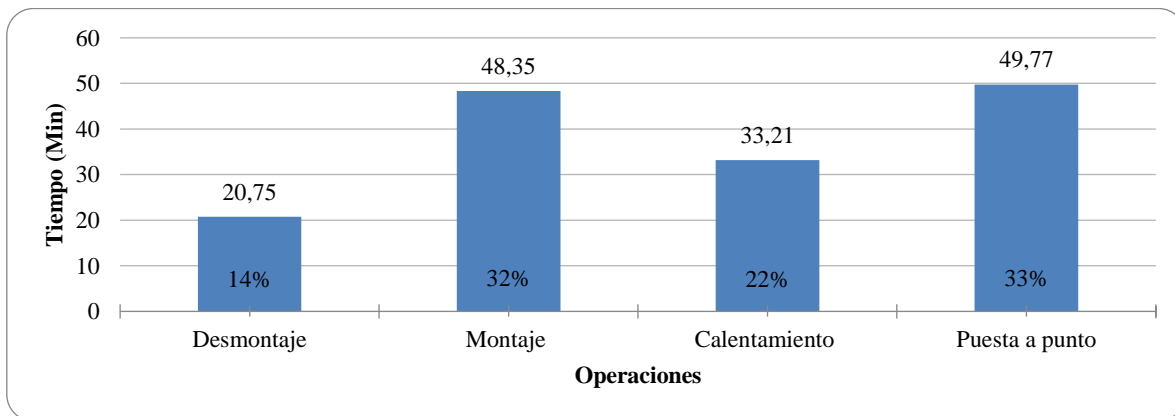
Ilustración 31. Cambio de zapapico 3100 de 5lb a zapapicos 3105 de 5lb



Fuente: Empresa estudio de caso, 2019.

Según la tabla No. 21, el 33 % y 32 % hacen parte de la puesta a punto y montaje, respectivamente. Lo anterior, a causa de la falta de alineación e inspección de la altura de herramientas; como también aparece nuevamente el montaje de platinas para que obtenga la altura de los herramientas superiores. Podría darse fin con estrategias de estandarización y técnicas que ayuden a evidenciar la puesta de herramientas la última vez que se sacó estas referencias.

Tabla 21. Participación de operaciones para el cambio zapapicos 3100 de 5lb a zapapicos 3105 de 5lb



Fuente: Elaboración propia.

El tercer cambio fue zapapicos 3105 de 4.5lb a hachas 4315 de 5lb y las dimensiones fueron 453mm de largo x 202mm de largo de pala x 195mm de largo de punta x 108mm de ancho de la pala para el 3105 de 4.5lb y 235mm de alto x 215mm de ancho para el hacha 4315 de 5lb y se cambió todos los herramientas, es decir, se cambió el paquete completo. A continuación, se evidencia el cambio realizado en la ilustración No. 32:

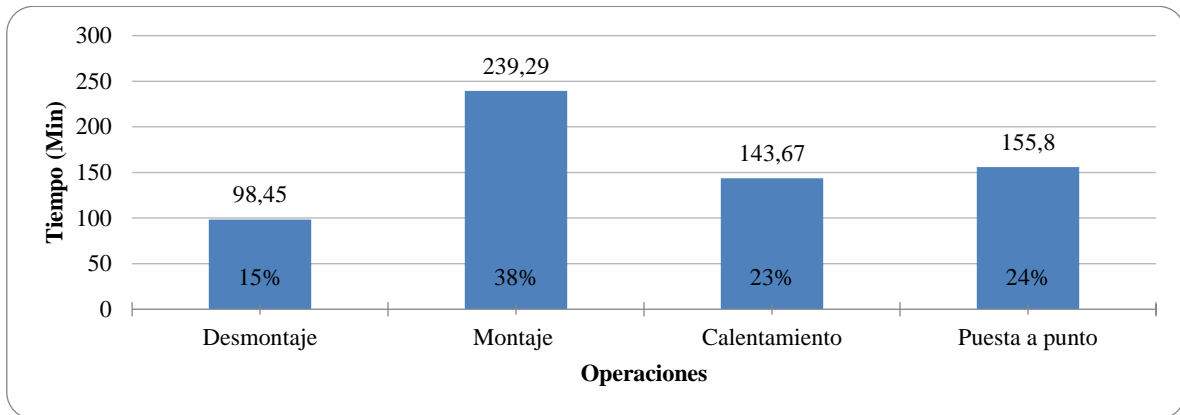
Ilustración 32. Cambio de zapapicos 3105 de 4.5lb a hacha 4315 de 5lb



Fuente: Empresa estudio de caso, 2019.

En la tabla No. 22, se obtiene que la mayor participación de las operaciones fue el montaje correspondiente al 38 %; a esta operación se le atribuye tiempos de reparación de la máquina, organización del puesto de trabajo y comunicación entre operarios e ingenieros sobre los cambios. Adicionalmente, cabe anotar que, el proceso de calentamiento se realizó 19 veces y el tiempo de duración promedio de cada repetición fue 7,5 minutos aprox.

Tabla 22. Participación de operaciones para el cambio zapapicos 3105 de 4.5lb a hachas 4315 de 5lb



Fuente: Elaboración propia.

Es preciso indicar que, en este cambio se realizó trabajo de soldadura y alineación de herramientas debido a que un lado de hacha estaba descentrado (asimétrico) como se muestra en la ilustración No. 33:

Ilustración 33. Proceso de soldadura y hachas asimétricas



Fuente: Elaboración propia.

El cuarto cambio fue de hacha 4311 de 3lb a hacha 4310 de 4lb siendo de dimensiones 180mm de alto x 95mm de ancho y 220mm de alto x 158mm de ancho, respectivamente como se observa en la imagen No. 34. Para este proceso de cambio en la máquina Wagner los siguientes herramientas: dado, punzón, base platos del paso 1 y paso 2 y pisador.

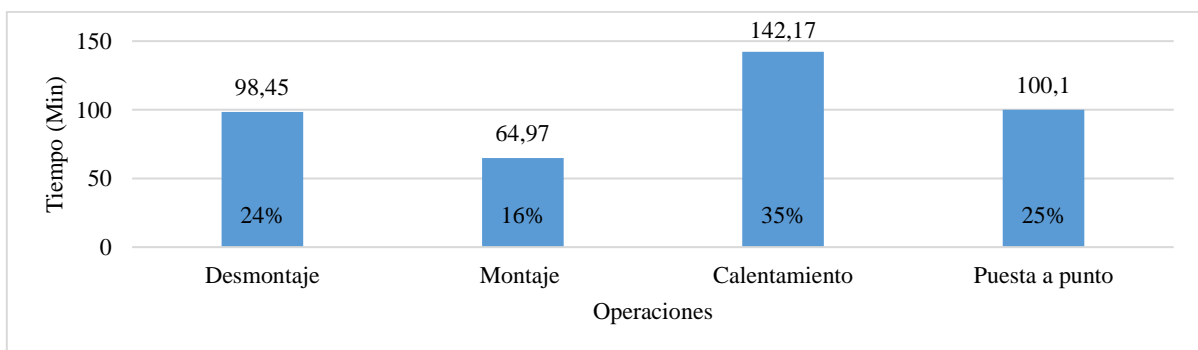
Ilustración 34. Cambio de hacha 4311 de 3lb a hacha 4310 de 4lb



Fuente: Empresa estudio de caso, 2019.

De acuerdo con la tabla No. 23, la operación que tuvo mayor participación fue la de calentamiento con un 33 %. Esta operación se repitió 22 veces con un tiempo de duración promedio de 6 minutos. Por otra parte, no menos importante, se presenta nuevamente la puesta a punto con alto porcentaje de participación y se le atribuye a la actividad de pulir porque algunos orificios para los tornillos estaban más pequeños que los otros. Se observó que, ensayaban tornillos porque no encajaban y se resalta que eran mismos tornillos usados y a usar.

Tabla 23. Participación de operaciones para el cambio hacha 4311 de 3lb a hacha 4310 de 4lb

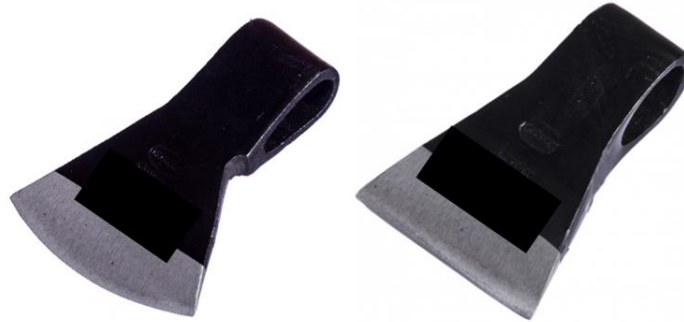


Fuente: Elaboración propia.

El quinto cambio fue de hacha 4313 de 3.5lb a hacha cuña 4313 6lb siendo de dimensiones de 198mm de alto x 140mm de ancho a 190mm de alto x 125mm de ancho,

respectivamente; como se observa en la siguiente imagen y para este proceso de cambió toda la máquina. A continuación, se observa la silueta de las piezas en la ilustración No. 35:

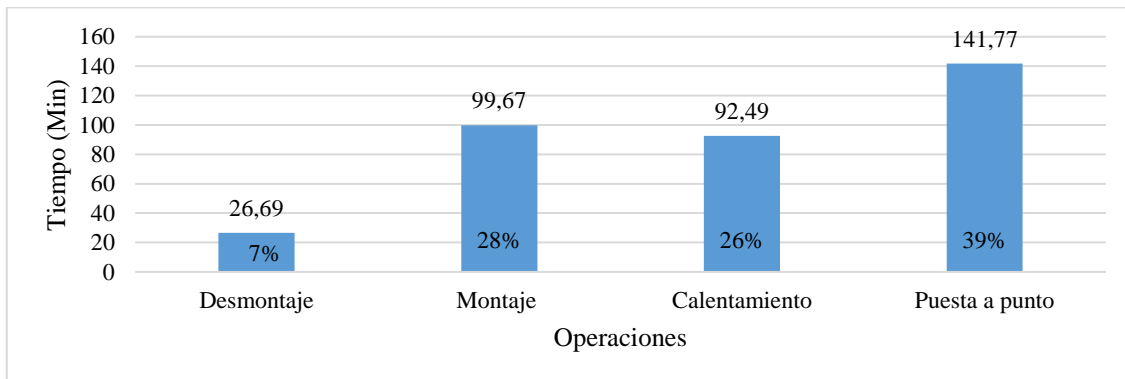
Ilustración 35. Cambio de hacha 4313 de 3.5lb a hacha cuña 4313 6lb



Fuente: Empresa estudio de caso, 2019.

Según la tabla No. 24, se identifica que la mayor participación fue la puesta a punto con un 39 %. Lo anterior a causa de la actividad de rectificar porque no se había hecho el proceso antes de montar y en caso de no hacer este proceso, posiblemente se deforma ya que en el momento de hacer el dado no se hizo un buen tratamiento térmico. Es de aclarar que la empresa estudio de caso crea la pieza y manda a hacer el tratamiento con una entidad externa.

Tabla 24. Participación de operaciones para el cambio hacha 4313 de 3.5lb a hacha cuña 4313 6lb



Fuente: Elaboración propia.

El tiempo que tardó en realizarse el proceso de rectificado de un dado fue de 30 minutos y el debe ser es que sea un proceso antes de parar la línea y debe estar relacionado con el de plan de mantenimiento; en la ilustración No. 36, se observa el proceso de rectificado en la empresa estudio de caso. Por otro lado, el porcentaje de participación para la puesta a punto se relaciona con múltiples ajustes a la altura del punzón porque el óvalo salía descentrado; para ello, incorporaban platinas para darle mayor profundización al punzón superior logrando que marcará más el óvalo como se muestra en la ilustración No. 37.

Ilustración 36. Proceso de rectificado



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 37. Montaje de platinas

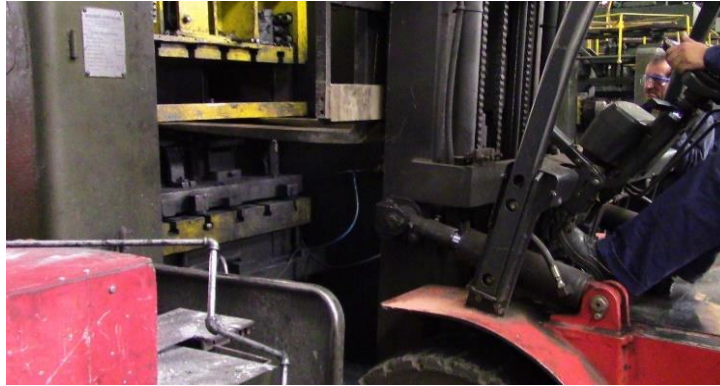


Fuente: Elaboración propia.

El sexto cambio fue de zapapico 3105 de 5lb a piqueta 3105-07 de 1.5lb siendo de dimensiones de 467mm de largo x 200mm de largo de pala x 210mm de largo de punta x 108mm de ancho de pala y 298mm de largo x 137mm de largo de pala x 148mm de largo

de punta x 41mm de ancho de pala, respectivamente; se tuvo que cambiar todo el paquete de herramientas como se observa en la ilustración No. 38.

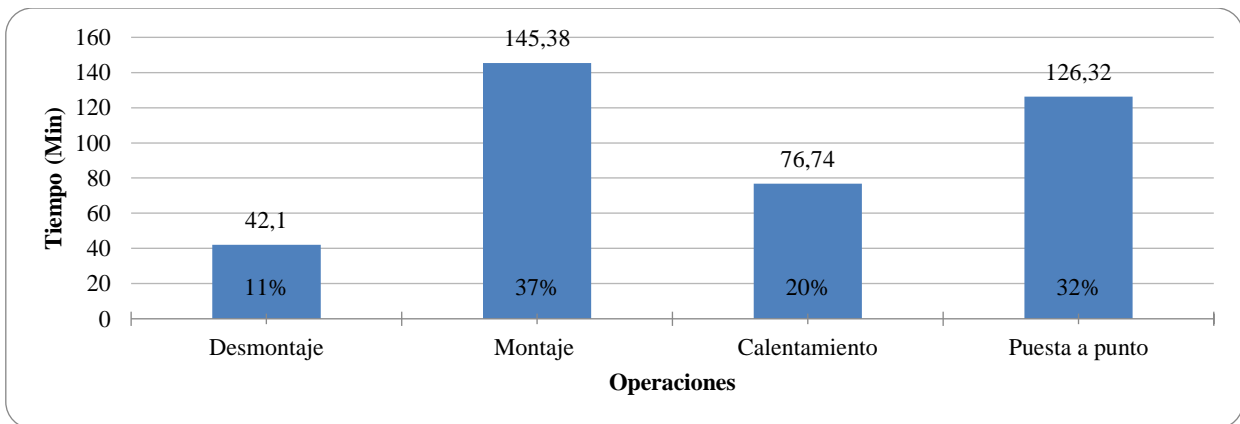
Ilustración 38. Cambios de zapapico 3105 de 5lb a piqueta 3105-07 de 1.5lb



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la tabla No. 25, se identifica que el 37 %, siendo la más alta corresponde a la operación de montaje; se le imputa a la actividad de atornillar en repetidas ocasiones y a que las piezas estaban atascadas en el horno porque estaban muy grandes. Lo anterior hace parte de que, la materia prima estaba de diferentes tamaños generando ajustes a los herramientas, es decir, poner platinas y pulir; estos son unos de los inconvenientes para que el proceso de cambio tarde tanto.

Tabla 25. Participación de operaciones para el cambio zapapico 3105 de 5lb a piqueta 3105-07 de 1.5lb



Fuente: Elaboración propia.

Para el tema de la materia prima, las dimensiones de la pieza para producir piqueta de 1.5lb son 17cm de largo x 2cm de ancho x 3cm de alto. Cabe anotar que, no sólo se presentó los inconvenientes descritos anteriormente sino que también tiempo innecesario para la organización de la materia prima en el lugar de almacenamiento y banda del horno de fundición. En la ilustración No. 39, se presenta la materia prima en diferentes medidas para el cambio sexto.

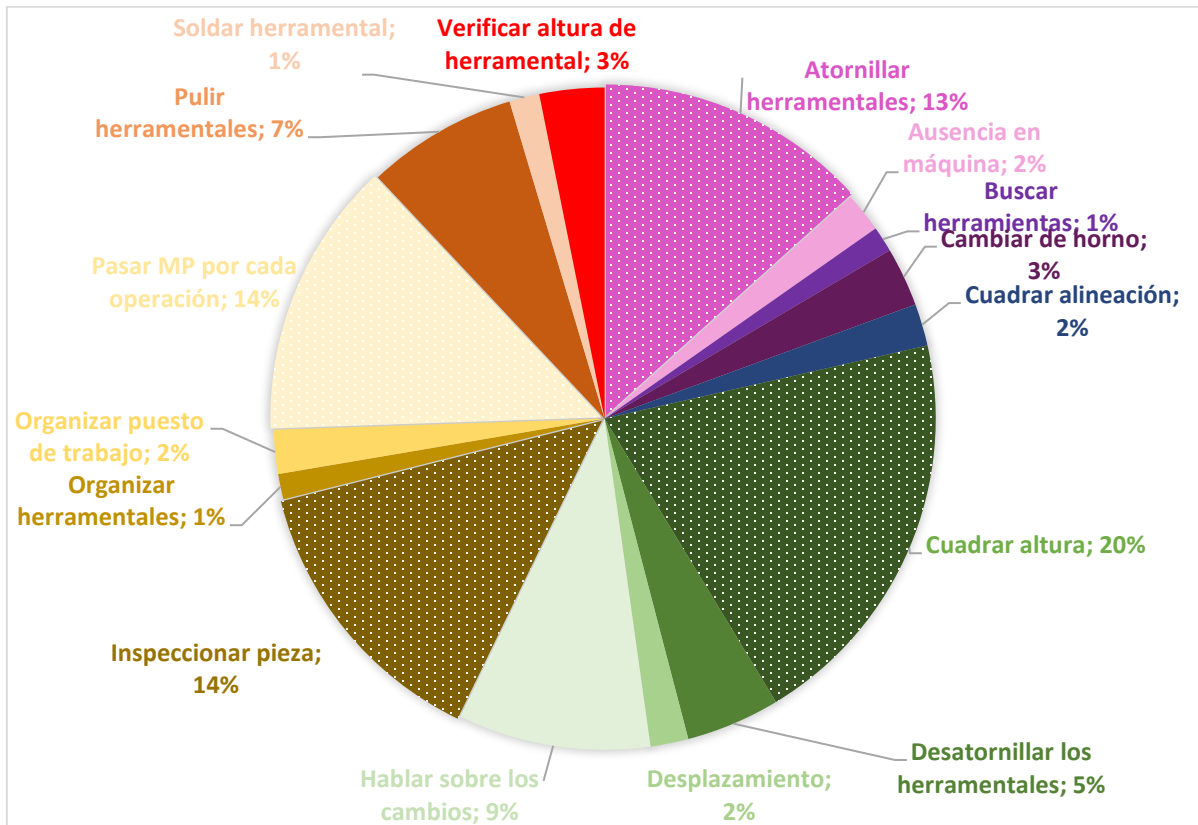
Ilustración 39. Diferencias de longitudes de la materia prima



Fuente: Elaboración propia.

En resumen, se observa que la operación con más participación en los 6 cambios fue la puesta a punto y la operación con menos participación fue desmontaje; es de reconocer que aún falta por trabajar en la consecución de buenos resultados. Actualmente, se cuenta por múltiples estrategias que ayudan a la empresa ser más rentable siempre y cuando se cuenten con el apoyo de directivos para generar la trazabilidad y el impulso de las mejoras. En la ilustración No. 40, se evidencian cuáles actividades dentro de la operación de puesta a punto obtuvieron mayor y menor participación.

Ilustración 40. Porcentaje de participación de la puesta a punto



Fuente: Elaboración propia.

De la ilustración No. 40 se infiere que, las actividades que conllevan mayor participación en la puesta a punto fueron: cuadrar altura con un 20 %, inspeccionar pieza y pasar materia prima por cada operación con un 14 % cada una y con un 13 % corresponde al atornillar herramientas. Siendo así, las actividades referidas anteriormente corresponden en un 60 % del 100 % de la participación de la operación.

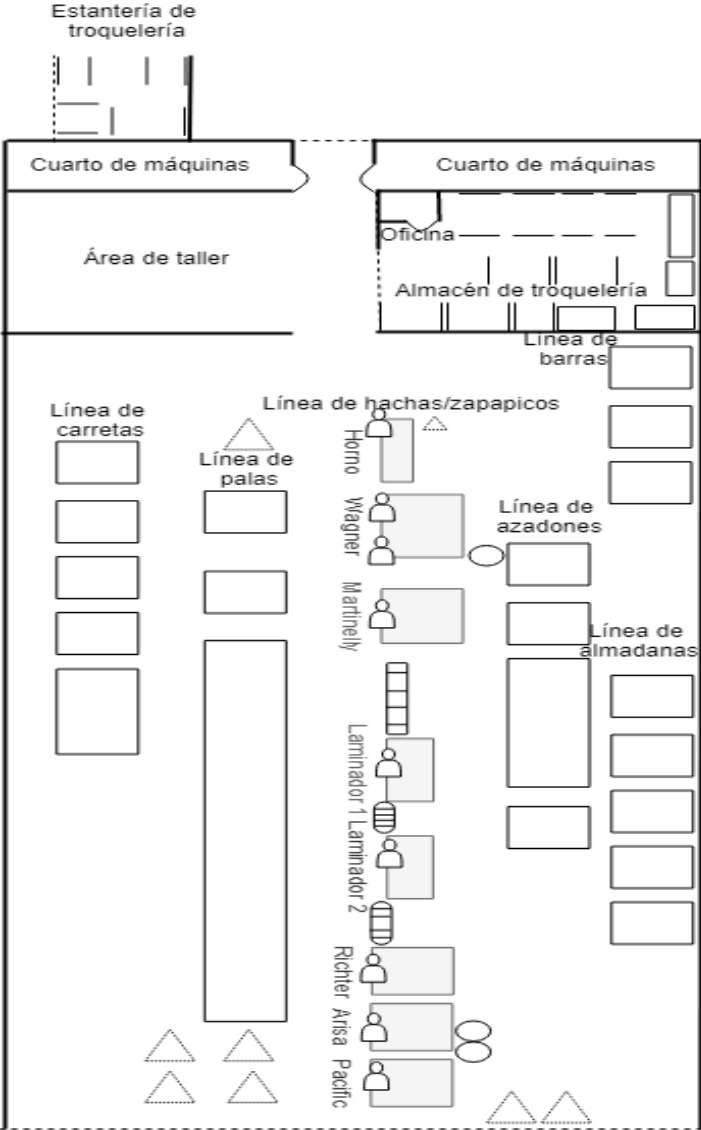
De otro punto de vista, las actividades de menor participación fueron: con 1 % correspondiente a soldar, buscar herramientas y organizar herramientas; con un puntaje de 2 % para organizar puesto de trabajo, desplazamiento, cuadrar alineación y tiempo inactivo.

10.1.4 Distribución del Puesto de Proceso

Se identificó que, el puesto de trabajo para el proceso de cambio es asequible a todas las partes de la máquina y en especial, al área de la máquina donde se realiza el cambio. A

pesar de que es un proceso muy manual, mecánico y extenso, permite que los operarios puedan cambiar de lado de trabajo mientras hacen el cambio de herramientas, tener interacción y soporte con otras líneas; además, de los diferentes puntos donde se encuentran las herramientas de apoyo y de herramientas como se muestra en la ilustración No. 41 (plano aproximado de la plan de producción se realizó en escala 1:200).

Ilustración 41. Plano de la planta de producción



Fuente: Elaboración propia.

En casos donde se requiere el cambio completo de herramientas, se debe quitar la plataforma para que el montacargas pueda acceder fácilmente a la máquina. Cabe resaltar que, para recoger o dejar herramientas con el montacargas o semigrúa sólo se realiza por la parte de delante de la máquina como se observa a continuación, puesto que por la parte de atrás se tiene un espacio reducido porque linda con la línea de azadones como se observa en la ilustración No. 42:

Ilustración 42. Suelo de la parte delantera vs suelo de la parte atrás de la máquina



Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto a describir es el almacén de troquelera, que cuenta con un área de 60m² (10m de largo x 6m de ancho) aprox. y cuenta con el Coordinador, Auxiliar, Mecánico de línea, Alistador y Ajustador. A continuación, se presenta el rol de cada uno:

- ❖ Coordinador: Dirige y supervisa el alistamiento, mantenimiento, creación y cambio de herramientas y planos. También, de buscar alternativas para disminuir los tiempos de reproceso y espera.
- ❖ Auxiliar: Realiza inspección contra plano y entrega el paquete de herramientas y revisa que el montaje este instalado de manera adecuada.
- ❖ Alistador: Cumple con la función de tener listos en un solo lugar los herramientas solicitados con medidas bajo plano.
- ❖ Ajustador: Encargado de mejorar el estado de los herramientas para que sirven en las líneas de producción, algunas veces se cuenta con planos actualizados, incompletos u obsoletos.

- ❖ Mecánico de línea: Apoya el cambio de herramientas.

El almacén cuenta con espacios para soldar, pulir y rectificar herramientas. Además, las estanterías se distinguen por colores de acuerdo a la línea; la estantería de color gris representa los herramientas para la línea de zapapicos y los de color naranja para la línea de hachas. En la ilustración No. 43 se observa el almacén de herramientas:

Ilustración 43. Espacios del almacén



Fuente: Elaboración propia.

En el almacén también se encuentran 4 canecas aprox. con tornillos; cada caneca separada de acuerdo a la longitud del tornillo con previa identificación. Seguidamente, cuando se requiere bajar o subir herramientas pequeños se puede hacer con la semigrúa que se dispone dentro el almacén; en cambio, cuando se requiere mover herramientas grandes o paquetes completos se usa el montacargas de acuerdo a la disponibilidad de la planta. Teniendo en cuenta las observaciones, se identificó que la disponibilidad de esta herramienta no influye en gran medida en el proceso de cambio.

Dentro del almacén, se dispone también de un espacio de 4m² (2m de largo x 2m de ancho) aprox. para la oficina del Auxiliar. Este espacio cuenta con mesa, silla, computador, teléfono, cajones y una estantería donde se encuentra insumos para el trabajo de mantenimiento y ajustes dentro del almacén.

Por otra parte, se dispone para los herramientas la estantería como se observa en la ilustración No. 44; ésta se encuentra en la parte externa de la planta de producción pero con la diferencia que no está separada por colores a pesar de que los herramientas estén pintados.

Se observa que, es un lugar poco aseado y algo desordenado. Los operarios aseguran que, a pesar que es un lugar aislado es adecuado para poner herramientas muy pesados. Lo anterior, a razón de evitar lesiones puesto que se ha presentado múltiples accidentes.

Ilustración 44. Estantería de herramientas externa



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que, detrás de las máquinas Wagner, Martinelly y Arisa se encuentran cajones o canecas que contienen tornillos o herramientas de apoyo para el cambio y son usados por todos los operarios y mecánicos como se observa en el conjunto de ilustraciones No. 45; se observó que, en repetidas ocasiones las personas que tienen relación directa con el cambio se acercan a estos puntos con el fin de cambiar o buscar las herramientas necesarias.

Se puede apreciar que, en éstas canecas no existe un orden de búsqueda y tampoco están identificadas hasta se observó que hay piezas de cambio (tornillos, llaves en L) en el piso y combinadas de tamaños.

Ilustración 45. Puntos de almacenamiento de herramientas de apoyo



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se observó que para el proceso también es usado diferentes mesas de alistamiento, la cual cumple con la función de poner los herramientas que se van a ensamblar, los que van a quitar, poner herramienta de apoyo, tales como pinzas largas, tornillos, llaves de diferentes tamaños y de diferentes familias. A continuación, se muestran las mesas detectadas en el proceso:

Ilustración 46. Mesas de alistamiento





Fuente: Elaboración propia.

La primera mesa es usada para transportar herramientas de apoyo de toda clase dividida en cajones, los cuales se encuentran en desorden. La segunda y tercera mesa, que es la misma pero captada en diferentes momentos es usada para trasladar los herramientas del almacén de troquelaría a las máquinas y viceversa. Ésta cuenta con 2 compartimientos; la de encima es para poner los herramientas que se van a poner y herramientas de apoyo y, el compartimiento de abajo es para poner los herramientas que se van a bajar.

Finalmente, se determinó que las operaciones son: desmontaje, montaje, calentamiento y puesta a punto; dentro de cada operación, existen también actividades como organización, desplazamientos, comunicación, mantenimiento, tiempos no identificados e inspección, los cuales no agregan valor pero sin embargo se encuentran actualmente hacen parte del proceso de cambio. Adicionalmente, se identificó que el principal responsable del cambio es el operario y en caso que de no haya turno o se presente alguna dificultad, lo haría el mecánico.

Cuando en la puesta a punto se presentan muchos inconvenientes hace presencia constante el coordinador y auxiliar y en esta operación, que representa el mayor porcentaje de tiempo en el cambio también se encuentra periodos de tiempos de montaje, desmontaje y calentamiento.

Recordar también que, el proceso de cambio de herramientas depende de que sus entradas se encuentren óptimas y justo a tiempo. Lo anterior indica que el factor humano, materia prima, herramientas y herramientas de apoyo se encuentren en el momento y lugar correcto. Sin embargo, estos factores no interactuaron positivamente trayendo consigo retrasos.

10.2 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES

Para dar respuesta al segundo objetivo específico, a continuación se determinó el estudio de tiempos y movimientos el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos teniendo en cuenta las variaciones para cada operación, la tensión realizada y la ubicación del puesto de trabajo.

En esta sección, se detallan los tiempos tomados, el porcentaje de tensión para cada operación y el tiempo tipo. Posteriormente, para el estudio de movimientos, se presentará los movimientos detectados, la clasificación de las operaciones pudiendo ser: dominante, repetitivo, manual y variable y los recorridos realizados por cada cambio.

10.2.1 Estudio de Tiempos

En este estudio se pudo ver la grandeza de los componentes que son usados en un proceso de cambio de herramientas; grandeza que como experticia, capacitación e interacción con los insumos reflejan actividades positivas y no tan positivas. A través de este estudio, se determinó el número de observaciones acuerdo a la ecuación (4) con el tiempo ajustado que fueron de seis observaciones.

Luego, se calculó el tiempo suplementario, básico y tipo para cada operación. En la tabla No. 26, se presenta la puntuación del tiempo suplementario variable para cada operación de acuerdo al tipo de tensión según Kanawaty, 1996:

Tabla 26. Cálculo del tiempo suplementario variable para cada operación

| Tipo de tensión | Operaciones | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|--------|----------|--------|---------------|--------|----------------|--------|
| | Desmontaje | | Montaje | | Calentamiento | | Puesta a punto | |
| | Esfuerzo | Puntos | Esfuerzo | Puntos | Esfuerzo | Puntos | Esfuerzo | Puntos |
| A. Tensión física | | | | | | | | |
| 1. Fuerza media (Kg) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2. Postura | B | 4 | B | 4 | B | 4 | B | 4 |
| 3. Vibraciones | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4. Ciclo breve | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 5. Ropa molesta | B | 3 | B | 3 | B | 3 | B | 3 |
| B. Tensión mental | | | | | | | | |
| 1. Concentración/ansiedad | M | 6 | M | 6 | B | 1 | B | 3 |
| 2. Monotonía | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3. Tensión visual | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 4. Ruido | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C. Condiciones de trabajo | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|----|---|----|---|----|---|----|
| 1. | B | 2 | B | 2 | B | 2 | B | 2 |
| Temperatura/ humedad | | | | | | | | |
| 2. Ventilación | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3. | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Emanaciones de gases | | | | | | | | |
| 4. Polvo | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 5. Suciedad | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 6. Presencia de agua | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total puntos | - | 15 | - | 15 | - | 10 | - | 12 |
| Conversión de puntos (%) | - | 12 | - | 12 | - | 11 | - | 11 |

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla anterior, se pudo determinar que la postura fue baja debido a que el operario se encuentra normalmente de pie o andando libremente. La condición de ropa molesta fue catalogado como bajo a razón del cambio de gafas protectoras; para el calentamiento y puesta a punto normalmente se usa gafas oscuras por el color naranja de la materia prima y las gafas transparentes se usa para el desmontaje y montaje.

Seguidamente, la concentración/ansiedad está dada como término medio para desmontaje y montaje y bajo para calentamiento y puesta a punto. Lo anterior, relacionado a que las 2 primeras operaciones requieren de más atención porque de estos pasos depende que la puesta a punto no tome tanto tiempo de ajustes. Finalmente, la temperatura y humedad se catalogó como bajo ya que se cuenta con 2 ventiladores en el puesto de trabajo.

Con base en la tabla anterior, el puntaje obtenido para el tiempo variable fue de 46 %. Una vez teniendo este valor, se determinó el tiempo tipo como se observa en la tabla No. 27 teniendo como referencia el tipo de producto, el tiempo básico según la ecuación (1) y el

tiempo suplementario por fatiga y necesidades personales siendo 4 % y 5 %, respectivamente.

Tabla 27. Determinación del tiempo tipo

| Tipo de referencia | Tiempo básico (h) | Tiempo fijo | Tiempo variable | Tiempo tipo (h) |
|--|--------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Zapapico 3105 de 5lb a Zapapico 3105 de 7lb | 4,54 | 9 % | 46 % | 7,04 |
| Zapapico 3100 de 5lb a Zapapico 3105 de 5lb | 2,53 | 9 % | 46 % | 3,92 |
| Zapapico 3105 de 4.5lb a Hacha 4315 de 5lb | 10,62 | 9 % | 46 % | 16,46 |
| Hacha 4311 de 3lb a Hacha 4310 de 4lb | 6,76 | 9 % | 46 % | 10,48 |
| Hacha 4313 de 3.5lb a Hacha cuña 4313 6lb | 6,01 | 9 % | 46 % | 9,32 |
| Zapapico 3105 de 5lb a Zapapico piqueta 3105-07 de 1.5lb | 6,51 | 9 % | 46 % | 10,09 |
| | 36,97 | | | 57,30 |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla No. 27, se presentaron los tiempos por cada cambio; se detalla el tiempo normal o tiempo básico, los suplementos fijos y variables. Posteriormente, se generó el cálculo del tiempo estándar con la ecuación (3) propuesta por (Kanawaty, 1996) y se determinó que el tiempo estándar del proceso de cambio de herramientas es de 57,30h. Adicionalmente, se indica que en el periodo de observación nunca se dio los cambios de hacha por zapapico.

El estudio de tiempos permite reiterar que, este tipo de proceso dentro de una organización es más dispendioso cuando sus actividades son manuales y operativas. Además, cuando sus procesos no interactúan entre sí. Es por ello que, el proceso se somete a largas jornadas hasta cumplir con el objetivo. Sumado a lo anterior, el desgaste físico, mental y la postura que acarrea la jornada independiente del tipo de referencia a cambiar.

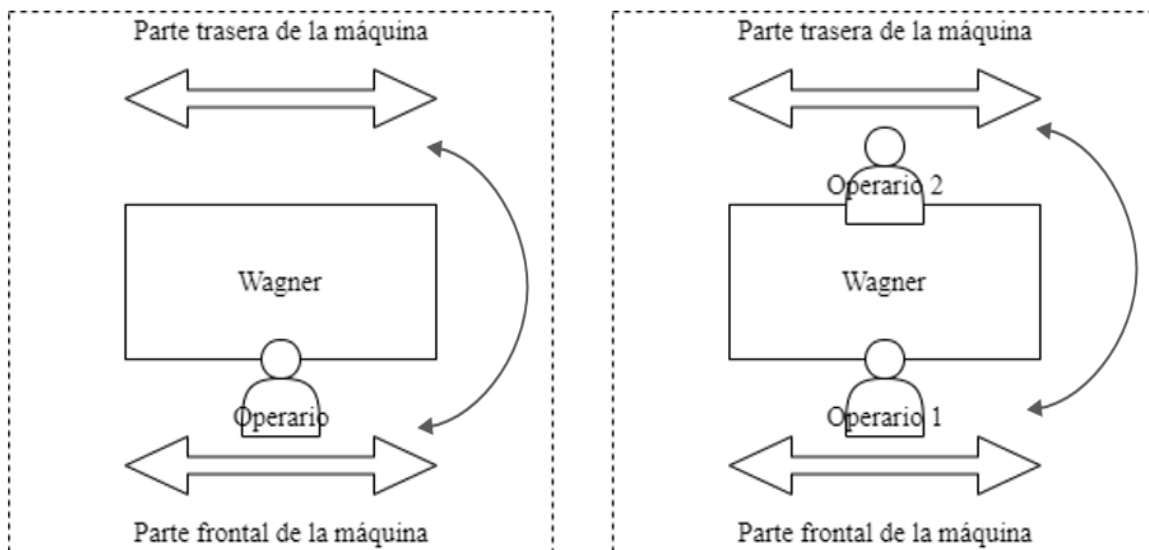
10.2.2 Estudio De Movimientos

Para este estudio, se identificaron los macromovimientos que se realizan desde el puesto de trabajo para llevar a cabo el proceso de cambio de herramientas. Adicionalmente, se identificó el tipo de elemento donde podría ser manual, repetitivo, dominante o variable dependiendo de la actividad como también, se identificó los recorridos del operario realizados en cada cambio.

En primer lugar, a través de la ilustración No. 47, se permite mostrar el recorrido que puede hacer el operario o mecánico para realizar el proceso de cambio de herramientas. La persona lo puede hacer desde la parte frontal o trasera de la máquina, según la posición de los herramientas y facilidad del proceso; moviendo a lo ancho de máquina como se observa en las flechas de derecha a izquierda o viceversa. También se puede observar que, el operario para llegar a la parte trasera de la máquina o bien, volver a llegar a la parte frontal debe hacer el recorrido como se muestra en la flecha curva; realizando el movimiento de semicírculo por el lado derecha de la máquina Wagner en razón al que lado opuesto se encuentra el horno de fundición.

Es de indicar que, en la mayoría de veces existen dos personas trabajando paralelamente. Cuando lo hace una sola persona o dos personas, la diferencia es el tiempo; pues cuando una persona hace el cambio no es directamente proporcional al tiempo que cuando se hacen dos personas.

Ilustración 47. Posición en el puesto de trabajo



Fuente: Elaboración propia.

En la primera observación se detectó que, para realizar la misma actividad de desatornillar, el tiempo de 2 operarios se reduce en un 34,5 % aprox. en comparación al tiempo de 1 operario. A pesar de que el desmontaje no representa la más alta participación, si se mejora poco a poco contribuye significativamente a la empresa; en el hecho de que se pudiera fabricar más producto puesto que tienen mayor demanda en el mercado o simplemente, los operarios puedan estar en otra línea realizando el cambio o produciendo otras referencias.

De acuerdo a la ilustración No. 47, se detecta múltiples movimientos, bien sea de forma individual o grupal; sin embargo, en cualquiera de las 2 situaciones, se observa similitud en la ruta de movimientos dentro de la máquina. Es por ello que, en la tabla No. 28 se describe detalladamente los métodos identificados en el proceso de cambio de herramientas según el tipo de forma:

Tabla 28. Descripción de métodos identificados en el proceso de cambio

| Tipo de forma | Métodos identificados | Descripción |
|-------------------------|--|---|
| <p>Forma individual</p> | <p>Por herramental</p>  | <p>Se identifica que el operario hace el cambio por cada pieza que se encuentra en la parte inferior. Para esto, el operario tiene la plena libertad de moverse alrededor de la máquina, bien sea de la parte frontal o trasera; realizando en semicírculo. Para lograr un movimiento seguro y que el herramental no se mueva, realiza el movimiento en círculo como se muestra en las flechas verdes. Este método aplica para ensamblar o quitar el paquete de herramientas.</p> |
| <p>Forma grupal</p> | <p>Paralelo - inferior</p> | <p>Se analiza que los operarios inician su proceso de cambio</p> |



desatornillando o atornillando de un lado a otro el mismo herramental que se encuentra en la parte inferior; es decir, el operario 1 quita o pone el tornillo que se encuentra justo al frente de él y el operario 2 hace lo mismo, con el tornillo que tiene cerca como se observa en la fecha.

Paralelo – superior



Se observa que el operario 1 quita o pone el tornillo de al frente y luego el operario 2 quita el otro tornillo que tiene al frente de él logrando un trabajo en conjunto y sin moverse del mismo puesto de trabajo.

Cabe subrayar que, para el movimiento en la parte superior debe de ser con cuidado y trabajar en paralelo

porque con algún movimiento brusco el herramental cae y puede ocasionar lesiones en brazos o dedos debido a que éste puede alcanzar el peso de 20kg. Un detalle en este método es que para el cambio quintan o ponen los tornillos de forma diagonal para equilibrar el peso como se ve en la segunda imagen (vista trasera de la máquina).

Por herramental



Se observa que aunque trabajan en conjunto, cada operario trabaja sobre un herramental diferente como se muestra en la imagen y dependiendo de la posición de la pieza y la experticia del operario se ubica lo mejor posible.

Fuente: Elaboración propia.

A raíz de este análisis y lo observado en planta, se concluye que el método más usado fue el de herramental en forma grupal. Lo anterior, a razón de la agilidad del movimiento. En

pocos casos, se identificó el método por herramental en forma individual ya que el proceso de cambio siempre es realizado por dos operarios; la causa para que este método hubiera sido en forma individual se debe a que el mecánico adelantaba trabajo.

En segundo lugar, a través del diagrama de recorridos se evidenciaron los movimientos realizados por el operario a lo largo de la planta para llevar a finalidad el proceso de cambio. Aunque por teoría no son recomendables dentro de un proceso los desplazamientos y esperas, en la práctica funciona de forma diferente y especialmente, en este caso de estudio.

En la ilustración No. 48, se muestran los recorridos realizados durante los 6 procesos de cambio. Lo anterior, para analizar los movimientos y pertinencia de cada uno. Antes de mostrar los recorridos, se relacionada por colores los cambios, siendo los siguientes:

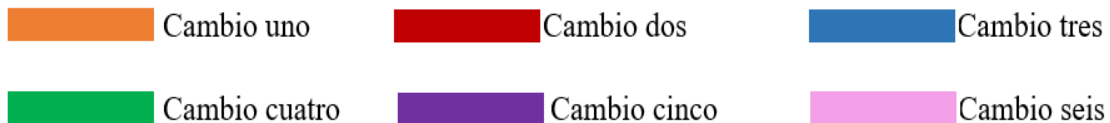
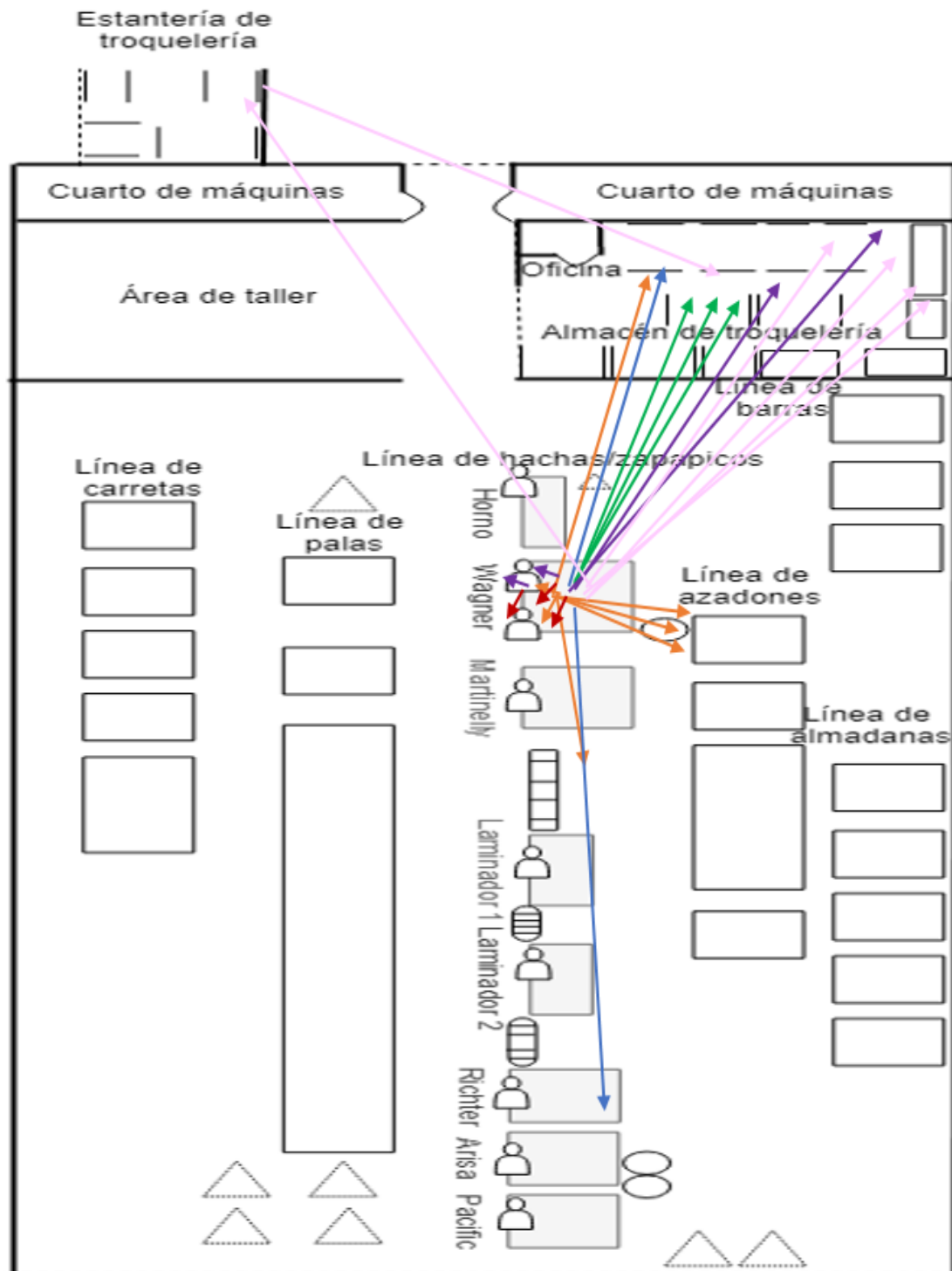


Ilustración 48. Diagrama de recorrido del proceso de cambio



Fuente: Elaboración propia.

Según el diagrama de recorrido, el cambio que más tuvo movimientos fue el de Zapapico 3105 de 5lb a Zapapico 3105 de 7lb y el cambio que menos tuvo fue el de Zapapico 3105 de 4.5lb a Hacha 4315 de 5lb. En el primer caso, se le atribuye al hecho de que se cambiaba ciertas piezas dentro del conjunto de herramientas ya que el cambio era para la misma referencia pero de diferente dimensión. Además, la falta de organización de las herramientas de apoyo, pues que se observa que hubo 3 recorridos a las canastas de herramientas. A diferencia del segundo caso que tuvo menos recorridos; lo anterior sucede a que, no se cambiaron las piezas individuales sino todo el paquete de herramientas porque son referencias diferentes y esto permite mayor facilidad al cambio.

Gracias al estudio de movimientos, permite determinar que existen movimientos ineficientes dentro del proceso de cambio de herramientas y los cuales pueden ser mejorados a través de mecanismos como por ejemplo, las mismas canastas de herramientas que usan pero separadas por referencia y previamente identificadas o en el momento en que se aliste los herramientas, se alista también las herramientas de apoyo o también podría ser posible, usar compartimientos más pequeños y separados por tipo de herramienta. Otra forma en general de disminuir movimientos es tener la trazabilidad de los herramientas en cuanto al mantenimiento, pues así permite tener mayor control y no depender de la memoria de los encargados o al “ojo”.

Por otra parte, se concluye que se están omitiendo elementos claves de los principios de economía de movimientos; entre ellos, no usar ambas manos en movimientos simétricos, dejar inactiva cualquiera de las dos manos, buscar herramientas y material de apoyo, tener desordenados las herramientas. Finalmente, es recomendable para el proceso y operarios el método identificado como paralelo que se realiza de forma grupal ya que permite disminuir el tiempo y movimientos en el cambio.



10.3 CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES INTERNAS Y EXTERNAS

Una vez tomados los datos en la planta, se clasificaron las actividades en operaciones internas y externas según el SMED. Cabe recordar que, la literatura indica que las operaciones internas son las que se realizan cuando la máquina está parada y las operaciones externas o conocidas también como operaciones en frío son las que se realizan






cuando la máquina está en proceso y no se tiene en cuenta el tiempo que dure estas operaciones. Las que se analizan y realmente suman son las internas y según la literatura, todas las actividades deberían ser catalogadas como externas.



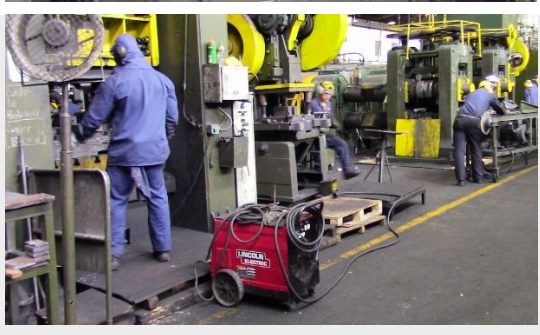
Entendiendo lo anterior, en esta sección se evidencia dicha clasificación del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales. En la tabla No. 29, se consolidan todas las actividades de los seis cambios observados y de acuerdo a los resultados anteriores, se clasificaron las operaciones en internas y externas según el método actual.

Tabla 29. Clasificación de las actividades en operaciones internas y externas del método actual

| Actividades | Momento de acción | Descripción | Actual | |
|-----------------------------|---|--|-------------------|---------|
| | | | Tipo de operación | |
| | | | Interna | Externa |
| Pasar MP por cada operación |  | Hace referencia a producir una preserie. | | x |
| Limpiar la máquina |  | Como su nombre lo indica, soplear los residuos generados por la materia prima. | x | |

| | | |
|---|---|---|
| <p>Desatornillar los herramientales</p> |  | <p>Consiste en quitar los tornillos de los herramientales.</p> <p style="text-align: right;">x</p> |
| <p>Buscar herramientas</p> |  | <p>Es buscar las herramientas de apoyo y materiales en el almacén de troquelaría o canecas que se encuentra cerca a la máquina.</p> <p style="text-align: right;">x</p> |
| <p>Limpiar puesto de trabajo</p> |  | <p>Hace referencia a barrer/recoger la cascarilla generada de la materia prima.</p> <p style="text-align: right;">x</p> |
| <p>Comunicar cambios</p> |  | <p>Es hablar con los ingenieros, mecánico de línea y demás operarios sobre los ajustes a realizar y lo que genera problemas.</p> <p style="text-align: right;">x</p> |
| <p>Atornillar los herramientales</p> |  | <p>Consiste en colocar los tornillos de los herramientales.</p> <p style="text-align: right;">x</p> |

| | | | |
|---|---|--|----------|
| <p>Cuadrar altura de los herramientas</p> |  | <p>Hace referencia a poner/quitar platinas para obtener la altura deseada.</p> | <p>x</p> |
| <p>Verificar el montaje del herramental</p> |  | <p>Es comprobar contra el documento ruta que el montaje sea el indicado.</p> | <p>x</p> |
| <p>Revisar herramental</p> |  | <p>Radica en la inspección visual para que no tenga rebaba, no este reventado, este pulido y se le haya hecho el mantenimiento.</p> | <p>x</p> |
| <p>Transporte del herramental</p> |  | <p>Hace referencia al movimiento de los herramientas cuando son llevados a la máquina o al almacén.</p> | <p>x</p> |
| <p>Medir altura</p> |  | <p>Con la ayuda del calibrador, se toman medidas de la altura de los herramientas para que los herramientas marquen bien la materia prima.</p> | <p>x</p> |

| | | | |
|----------------------------|--|--|---|
| Calentar MP |  | <p>Consiste en someter la materia prima a altas temperaturas para que sea más fácil la deformación.</p> | x |
| Calentar herramientales |  | <p>Consiste en colocar la materia prima encima de los herramientales para que sea más fácil la deformación.</p> | x |
| Realizar mantenimiento |  | <p>En algunos casos, se observó que debido al mal tratamiento térmico de los herramientales, estos se reventaban (se forman grietas) y era necesario pulir, soldar y/o rectificar.</p> | x |

Fuente: Elaboración propia.

A lo largo del trabajo, se ha visto la influencia de cada una de las actividades mencionadas anteriormente en el proceso de cambio y con ello, el objetivo de cada una. En la tabla No. 29, se trató de evidenciar el momento de acción de cada actividad con la aclaración que, no es precisamente el proceso secuencial del cambio de herramientales.

De esta manera, se identificó que las actividades como pasar materia por cada operación, verificar el montaje del herramental, revisar herramental y calentar materia prima fueron vistas como operaciones externas en el proceso de cambio actual. El resto de actividades son operaciones internas ya que son realizadas cuando la máquina se encuentra parada y son el foco para proponer mejoras; sin dejar a un lado las operaciones externas en razón a que se podrían realizar una reingeniería.

También, al momento de determinar la clasificación, fue importante transformar las configuraciones internas en configuraciones externas y así reducir el tiempo requerido para los cambios, por ejemplo, la acción de buscar herramientas debería estar en la clasificación de operaciones externas; en general, fue una cuestión de diferenciar entre ambos tipos de ajustes, estudiarlas y encontrar cuellos de botella. Lo anterior, con el objetivo de mejorar el proceso de cambio a través de diversas propuestas de solución donde se destaca la estandarización de las actividades.

Finalmente, para haber llegado a este punto, se usó los pasos de la primera etapa descritos por el autor Gil et. al., 2012 con el objetivo de estandarizar las operaciones de modo que con la menor cantidad de movimientos y menos consumo del tiempo se puedan hacer rápidamente los cambios, de tal forma que se vaya perfeccionando el método actual y haga parte del proceso de mejora continua de la empresa.

Sin olvidar que, la aplicación de la herramienta SMED en el proceso de cambio de herramientas se convierte en una técnica de carácter obligado en aquellas empresas que fabriquen series cortas y con gran variedad de referencias.

10.4 PROPUESTAS DE MEJORAS SOPORTADAS EN UN ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMIENTALES

En esta sección, se realizó un análisis, se encaminó y se organizó en una matriz las propuestas de mejoras de acuerdo a los estudios realizados con la ayuda de la herramienta SMED y soportadas en un análisis de costos.

Para ello, fue muy necesario realizar una consolidación con todas las partes y pasos de la operación, actividades de mayor participación en el proceso incluyendo especificaciones, referencias, herramientas, entre otros y a partir de esa lista, se realizó una comprobación para asegurar por medio de la literatura y antecedentes qué tipo de actividades podrían ser mejoras o transformadas, evitando pruebas que hacen perder el tiempo.

Como se ha dicho anteriormente, la puesta a punto ha sido la operación de mayor participación dentro del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y

zapapicos debido a múltiples fallas en las operaciones que antecede y los cuales se reflejan en ésta por ser la última operación del proceso.

Con base en lo anterior, se realizó la clasificación nuevamente para el método propuesto del proceso de cambio. Para ello, se clasificaron las mismas actividades del método actual en internas y externas de acuerdo a los autores: Sira (2011), Rosa, Silva, Pinto y Campilho (2017) y Sri, Mentari y Azzam (2018), quienes indican que las actividades de buscar, ajustar, mover, transportar, realizar mantenimiento, alistar y esperar deben tratar de eliminarse de las operaciones internas como se muestra en la tabla No. 30 y de esta manera se obtuvieron las actividades del método propuesto:

Tabla 30. Clasificación de las actividades en operaciones internas y externas del método propuesto

| Actividades | Descripción | Actual | | Propuesto | |
|--------------------------------|--|-------------------|---------|-------------------|---------|
| | | Tipo de operación | | Tipo de operación | |
| | | Interna | Externa | Interna | Externa |
| Pasar MP por cada operación | Hace referencia a producir una preserie. | | x | | x |
| Limpia la máquina | Como su nombre lo indica, sopletear los residuos generados por la materia prima. | x | | x | |
| Desatornillar los herramientas | Consiste en quitar los tornillos de los herramientas | x | | x | |
| Buscar herramientas | Es buscar las herramientas de apoyo y materiales en el almacén de troquelería o canecas que se | x | | | x |

| | | | | |
|--------------------------------------|---|---|---|---|
| | encuentra cerca a la máquina. | | | |
| Limpiar puesto de trabajo | Hace referencia a barrer/recoger la cascarilla generada de la materia prima. | x | | x |
| Comunicar cambios | Es hablar con los ingenieros, mecánico de línea y demás operarios sobre los ajustes a realizar y lo que genera problemas. | x | | x |
| Atornillar los herramentales | Consiste en colocar los tornillos de los herramentales | x | | x |
| Cuadrar altura de los herramentales | Hace referencia a poner/quitar platinas para obtener la altura deseada. | x | | x |
| Verificar el montaje del herramental | Es comprobar contra el documento ruta que el montaje sea el indicado. | | x | x |
| Revisar herramental | Radica en la inspección visual para que no tenga rebaba, no este reventado, este pulido y se le haya | | x | x |

| | | | | |
|----------------------------|---|---|---|---|
| | hecho el mantenimiento. | | | |
| Transporte del herramental | Hace referencia al movimiento de los herramientas cuando son llevados a la máquina o al almacén. | x | | x |
| Medir altura | Con la ayuda del calibrador, se toman medidas de la altura de los herramientas para que los herramientas marquen bien la materia prima. | x | | x |
| Calentar MP | Consiste en someter la materia prima a altas temperaturas para que sea más fácil la deformación. | | x | x |
| Calentar herramientas | Consiste en colocar la materia prima encima de los herramientas para que sea más fácil la deformación. | x | | x |
| Realizar mantenimiento | En algunos casos, se observó que debido al mal tratamiento térmico de los herramientas, estos se | x | | x |

reventaban (se forman grietas) y era necesario pulir, soldar y/o rectificar.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la anterior tabla, se determinó que las actividades como atornillar, desatornillar, la comunicación de cambios, calentar herramientas, limpiar puesto de trabajo y máquina son clasificadas como operaciones internas en el proceso de cambio de herramientas para el método propuesto y siendo las mismas para el método actual.

Por otra parte, las actividades de buscar herramientas, cuadrar altura, transportar herramientas, medir altura y realizar mantenimiento deben ser operaciones externas para el método propuesto, las cuales se resaltan en color azul en la tabla No. 30 y en el método actual fueron catalogadas como operaciones internas. De esta manera, se utilizaría los criterios fundamentales de la herramienta SMED.

En esta etapa, fue preciso hacer una revisión detallada de las actividades internas con el objetivo de hacer la conversión o cambio pertinente y así ganar más tiempo productivo. Indiscutiblemente, es importante realizar todo lo necesario para reducir el tiempo en preparar herramientas manuales, punzones y herramientas en general, preferiblemente, fuera de la máquina en funcionamiento. Lo anterior, para que cuando ésta pare, se haga el cambio necesario. De modo que, se pueda comenzar a funcionar rápidamente y sin ajustes o esperas.

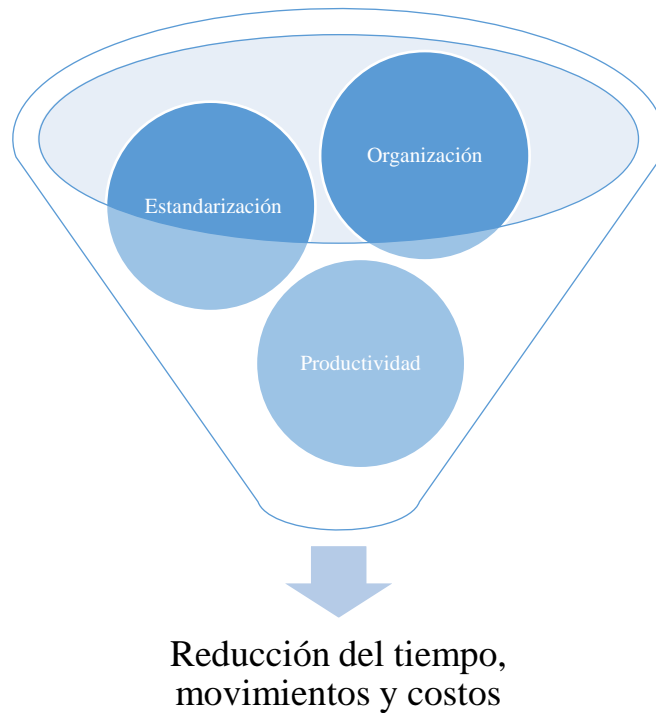
Finalmente, fueron 5 operaciones que pasaron de internas a externas en el método ideal y las cuales fueron la base para estudiar y desarrollar las propuestas de mejoras en este proceso de cambio según la herramienta SMED.

10.4.1 Análisis De Alternativas

Para las alternativas de mejoras en el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmecánico se tuvo en cuenta las actividades que cambiaron de clasificación de acuerdo a la tabla No. 30. Las alternativas de

mejoras fueron formuladas basadas en los aspectos que se mencionan en la ilustración No. 49:

Ilustración 49. Factores para la identificación de mejoras



Fuente: Elaboración propia.

Además, se tuvo en cuenta la ergonomía en las propuestas de mejoras, pues es otro factor que beneficia principalmente al operario, quien es el involucrado directamente en el proceso y cuidar el bienestar laboral, capacidades físicas y mentales de la persona y las condiciones de trabajo.

En la tabla No. 31 se describen las propuestas planteadas para eliminar las actividades de buscar, cuadrar, transportar, medir y realizar mantenimiento. En dicha tabla, también se describe cada propuesta identificando el objetivo, funcionamiento, representación gráfica e impacto esperado. Cabe resaltar que, cada mejora apunta a diferentes actividades con el fin de revisar y elegir la más adecuada en relación al análisis de costos y, que mejor se adapte a las políticas estratégicas del caso en estudio.

Tabla 31. Propuestas de mejoras

| |
|--|
| <p>Propuesta de mejora No. 1: Diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas.</p> |
| <p>Funcionamiento: El objetivo de las plantillas es conocer el estado óptimo de funcionamiento de los herramientas con relación al desgaste, pues como es de conocimiento, los herramientas cubren un ciclo de vida y este factor está directamente relacionado con el uso.</p> <p>Se recomienda contar con una herramienta que, al colocar el herramental dentro de la plantilla indique si necesita cambio de herramental o ajuste (pulir) antes de llegar al momento del cambio. Lo anterior, significa que esta operación se realice cuando se está en el proceso de alistamiento o justo cuando se baja de la máquina, que es el deber de ser y el cual es el momento de revisar si un herramental requiere de mantenimiento.</p> <p>Esta herramienta sería diseñada para cada tipo de referencia de las líneas de hachas y zapapicos; con el objetivo de reducir el tiempo que se tarda en obtener la altura adecuada, bien sea para llenar el óvalo en el hacha o estampar el zapapico; además, de la estandarización de la altura dependiendo del tipo de referencia.</p> <p>Otro factor del molde es que, cada uno debe estar identificado por color para agilizar la búsqueda de cada uno de ellos y se sugiere disponer un espacio en el almacén de troquelaría, al igual que los herramientas.</p> <p>La altura de la plantilla (desgaste) y las medidas de esta deben ser definidas de acuerdo a los parámetros y necesidades de la empresa objeto de estudio; el desgaste puede variar en milímetros, por ejemplo, en un cambio se observó en un herramental estaba 5mm desgastado. A continuación, se observa un herramental de cada referencia que fue captado en un cambio y con base en ello, se elaboró la representación gráfica por cada uno.</p> <p style="text-align: center;">Herramental hacha 4313-6:</p> |

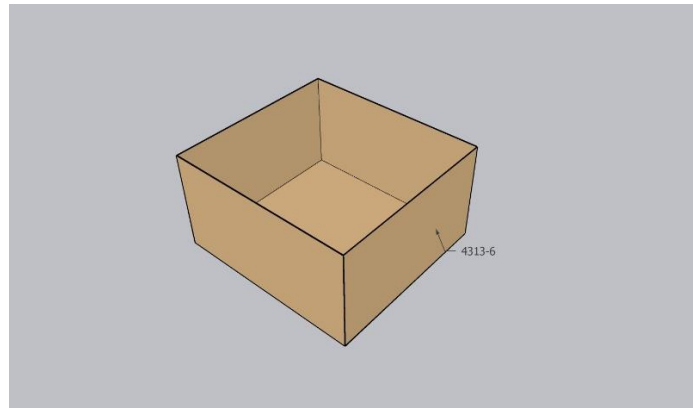


Herramental zapapico 3105-7:



Representación gráfica:

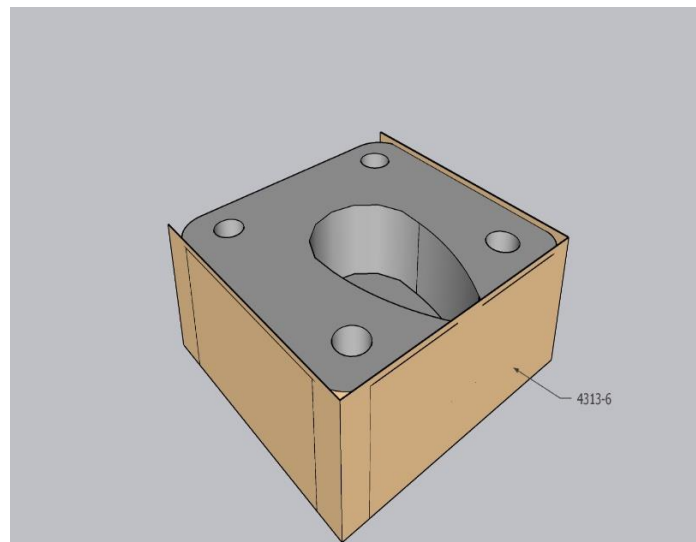
Plantilla de desgaste sin el hacha 4313-6:



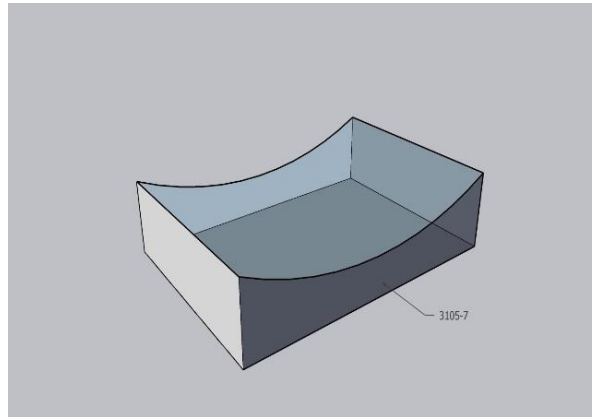
Especificaciones técnicas:

- Dimensiones: 16 cm de largo x 16 cm de ancho x 15 cm de alto aprox.
- Material: Aluminio

Plantilla de desgaste con el hacha 4313-6:



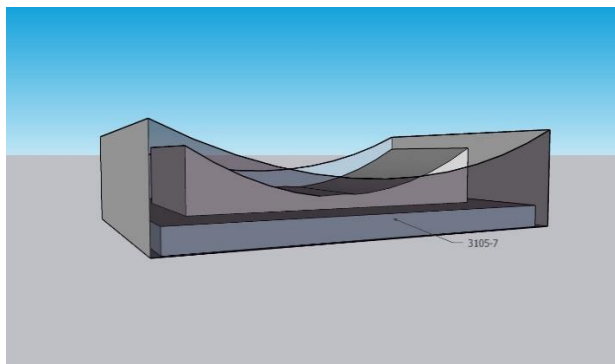
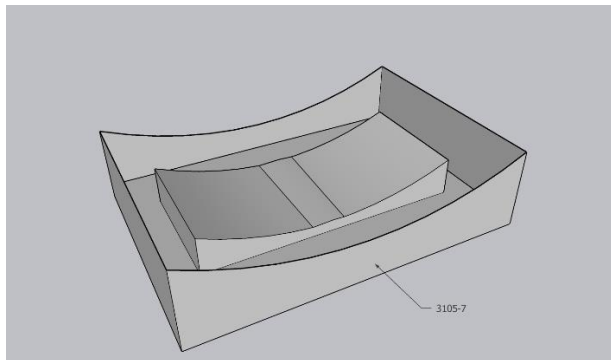
Plantilla de desgaste sin el zapapico 3105-7:



Especificaciones técnicas:

- Dimensiones: 52 cm de largo x 16 cm de ancho x 16 cm de alto en esquinas x 14 cm de alto en medios aprox.
- Material: Aluminio

Plantilla de desgaste con el zapapico 3105-7:



Impacto posible: Al usar las plantillas para el desgaste de los herramientales en el proceso de cambio se reduciría el tiempo en un 17,3 % (en un cambio de 6,1 h se reduciría 63,6 min). La reducción del tiempo también eliminaría las actividades de medir, pulir, cuadrar y comprobar.

Dicho de otra manera, esta propuesta apoyaría la creación de un nuevo control desde el proceso de alistamiento de herramientales y siendo así, se podría tomar decisiones de forma planeada y controlada, en caso de que se requiera.

Finalmente, con la implementación de este tipo de alternativas aportaría a los criterios mencionados por los autores Sira (2011), Rosa, Silva, Pinto y Campilho (2017) y Sri, Mentari y Azzam (2018) de eliminar el ajuste y mantenimiento cuando la máquina se encuentra parada.

Propuesta de mejora No. 2: Estandarizar las platinas.

Funcionamiento: La función de esta propuesta es organizar y estandarizar las platinas existentes en el almacén de troquelaría con el fin distinguirlas por cada referencia y hasta por línea.

Actualmente, se usa para obtener la altura deseada y es buscada justo en el momento que se realiza el cambio y se logra obtener más 3 platinas de diferentes medidas en el proceso de cambio.

En el momento de su uso, el método para encontrar la altura deseada es el ensayo y error tomando consigo tiempo innecesario para esta actividad. Lo que se pretende entonces es estandarizar y antes de realizar el cambio, contar con las platinas necesarias.

En la propuesta se proporciona 3 tipos de grosor siendo de 1cm, 1.5cm y 2cm para cada referencia que permitirán encontrar la altura y por cada referencia se distinguirá por colores para mejor manejo.

De igual forma, se debe incluir como una herramienta más de apoyo y se deberá contar dentro del proceso de alistamiento. Finalmente, apoyará para eliminar el cálculo visual y las repetidas veces de verificar la dimensión de la altura del herramientales.

Especificaciones técnicas:

- Dimensiones: 30 cm de largo x 16 cm de ancho aprox.

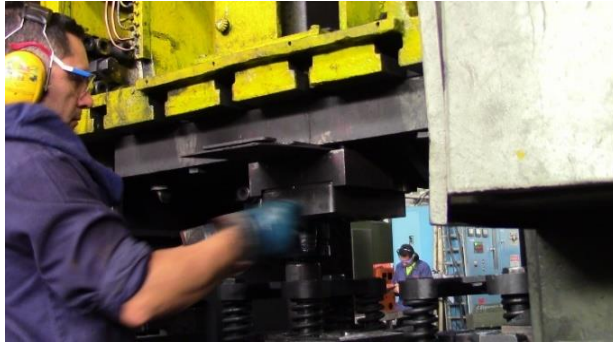
- Grosor: 1 cm, 1.5 cm y 2 cm
- Material: Acero

A continuación, se observa las platinas y el momento donde se ensamblan captado en un cambio y con base en ello, se elaboró la representación gráfica.

Platina real:

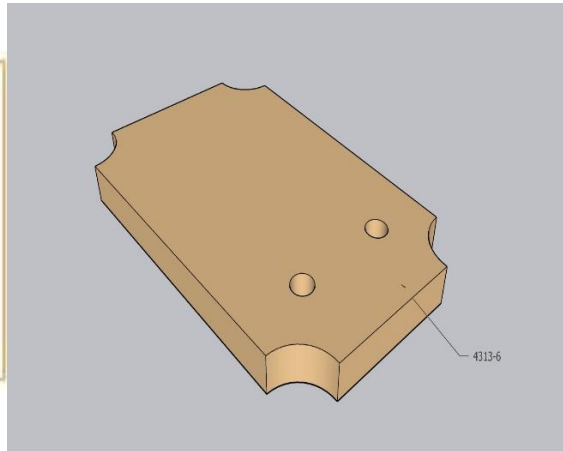
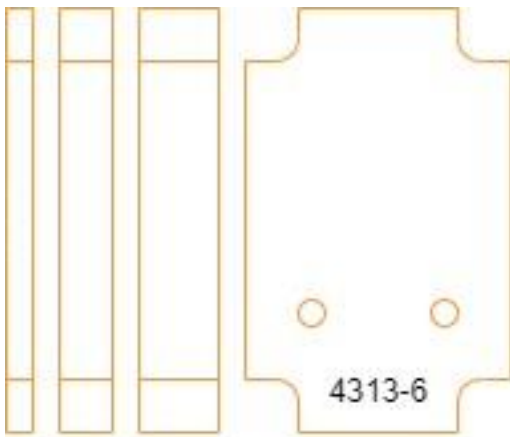


Ensamble de las platinas:

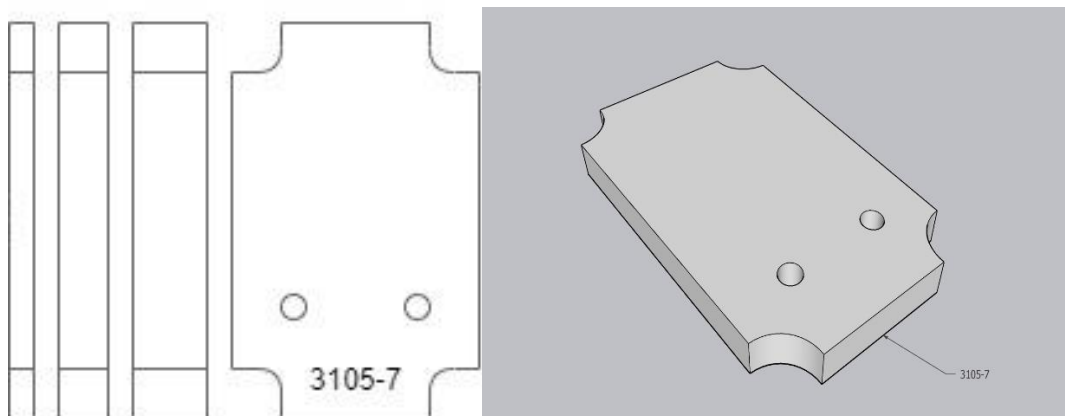


Representación gráfica:

Platina hacha 4313-6:



Platina zapapico 3105-7:



Impacto posible: La articulación de estandarizar las platinas en el proceso de cambio aportaría al ahorro en un 2,3 % (en un cambio de 6,1 h se reduciría 8,6 min).

Adicionalmente, se eliminaría la subjetividad del operario y por el contrario, se apuntaría a la organización y estandarización de procesos sin incurrir a tiempos extras.

En definitiva, se reduciría en un 2,3 % del tiempo total de un cambio de herramientas y también se registraría una reducción del tiempo de entrega, del ciclo y mejoraría la flexibilidad de la labor realizada por parte del operario con las platinas de 3 tipos de grosor y los cuales, podrían estar registrados en la estandarización del proceso y cuando se realice el alistamiento, se debería de tener en cuenta estas herramientas para el cambio antes de que la máquina se detenga. Además, de la posibilidad de reducir actividades como atornillar, desatornillar y calentar.

Propuesta de mejora No. 3: Pintar las herramientas de apoyo.

Funcionamiento: La propuesta consiste en utilizar códigos de colores para diferenciar las herramientas de apoyo por referencia y hasta por línea de producción. Con lo anterior, se contribuye a la organización, estandarización y método de trabajo para el adecuado funcionamiento del proceso de cambio de herramientas.

Debido a que actualmente no se evidencia un proceso de alistamiento de estas herramientas y surge justo en el momento de cambio. Se ha podido observar que, el operario o el mecánico de línea se dirigen otras máquinas en búsqueda del elemento necesario, obteniendo periodos de tiempos innecesarios y el cual se podrían invertir en el alistamiento, es decir, como una operación externa.

Pues bien, pintar las herramientas de apoyo apuntaría a optimizar el estado del entorno de trabajo, facilitar la labor de los operarios y potenciar su capacidad para la detección de problema. Además, se contribuye al uso de técnicas como 5S (organización, orden, limpieza, estandarización y limpieza) para detectar herramientas obsoletas y buen lugar de almacenamiento.

A continuación, se observa los desplazamientos que realizó el operario para buscar herramientas de apoyo. Lo anterior, fue captado en un cambio y con base en ello, se elaboró la representación gráfica; se diseñó la herramienta llave en L o conocida también llave hexagonal, almadana y llave fija; las cuales son muy usadas en el proceso de cambio de herramientas.

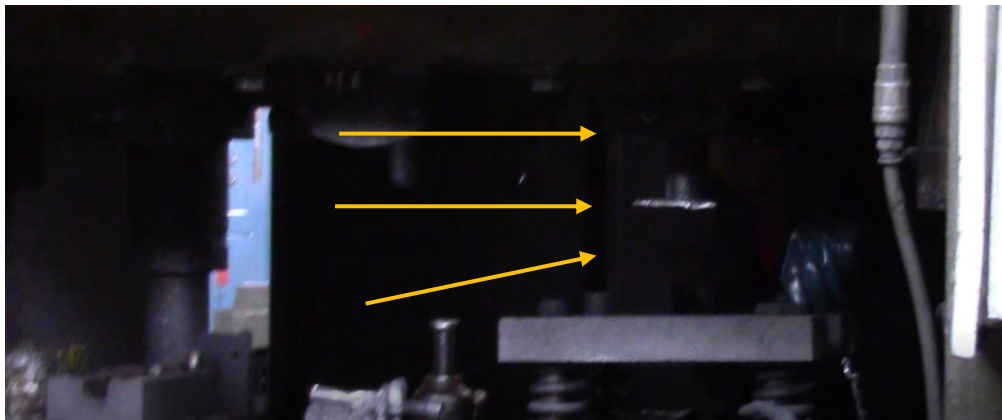
Momento 1: Sale a buscar la pieza.



Momento 2: Encuentra la pieza.

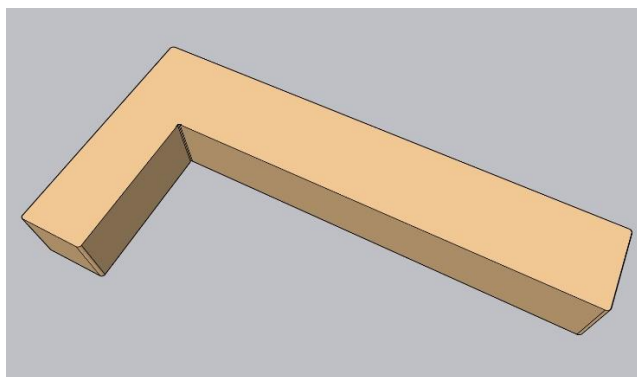


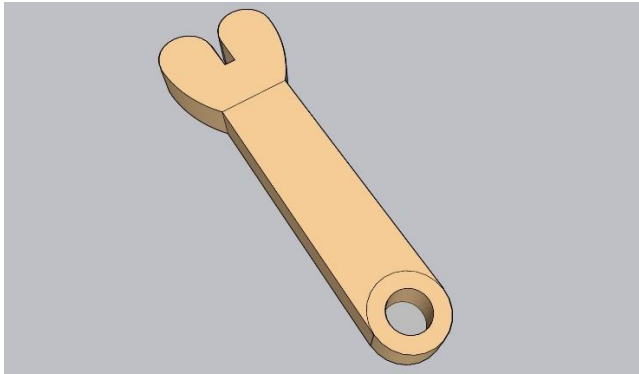
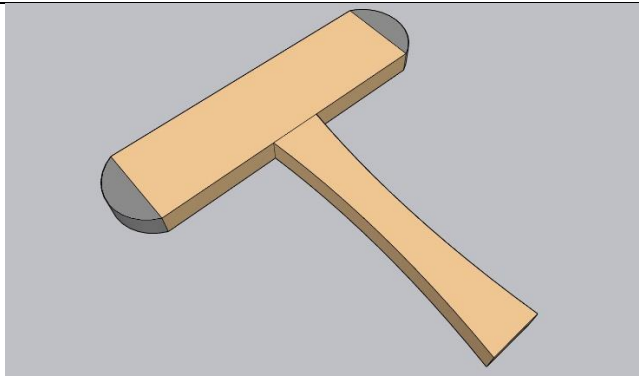
Momento 3: Hace uso de la herramienta.



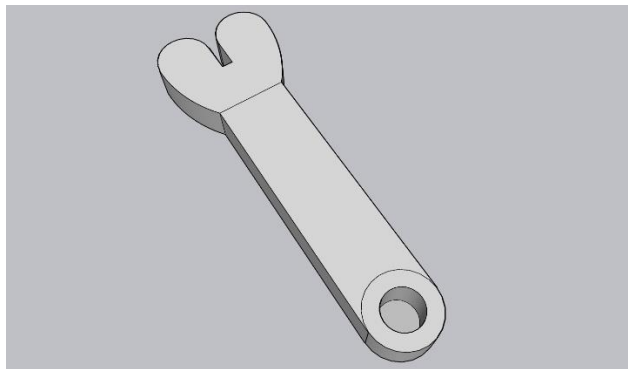
Representación gráfica:

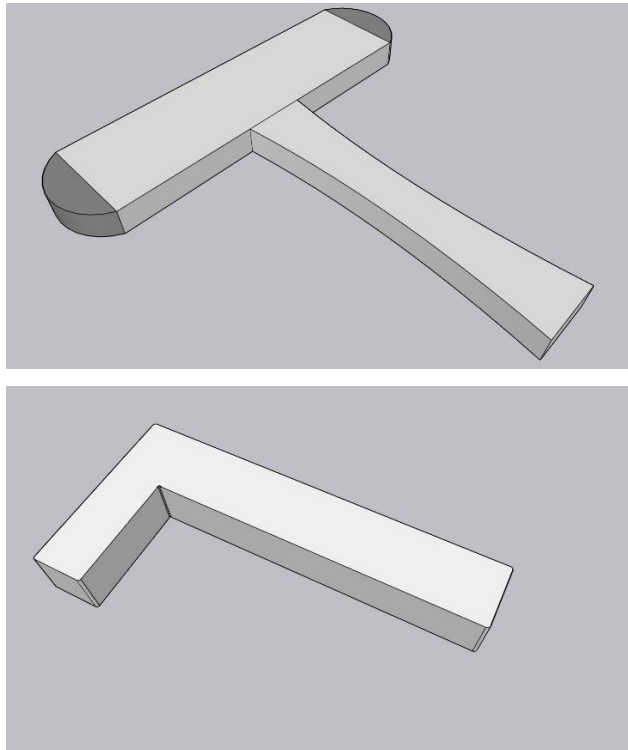
Herramientas para hacha 4313-6:





Herramientas para zapapico 3105-7:





Impacto posible: Utilizando el código de color se busca diferenciar los elementos de apoyo a la hora de realizar el cambio de herramientas y con ello, se reduciría un 4,5 % del tiempo (en un cambio de 6,1 h se reduciría 16,3 min) y en desplazamiento, se reduciría en unos 22,8 metros.

De esta manera, se eliminaría el tiempo perdido por desplazamiento buscando los elementos necesarios y apoyaría a las herramientas de control que permitan detectar errores antes que detectar defectos, como los componentes libres de fallas, también conocidos como Poka-yokes y los principios de movimientos. Además, de la posibilidad de reducir la actividad de ensayar herramientas de apoyo.

Propuesta de mejora No. 4: Codificar las canecas de herramientas de apoyo.

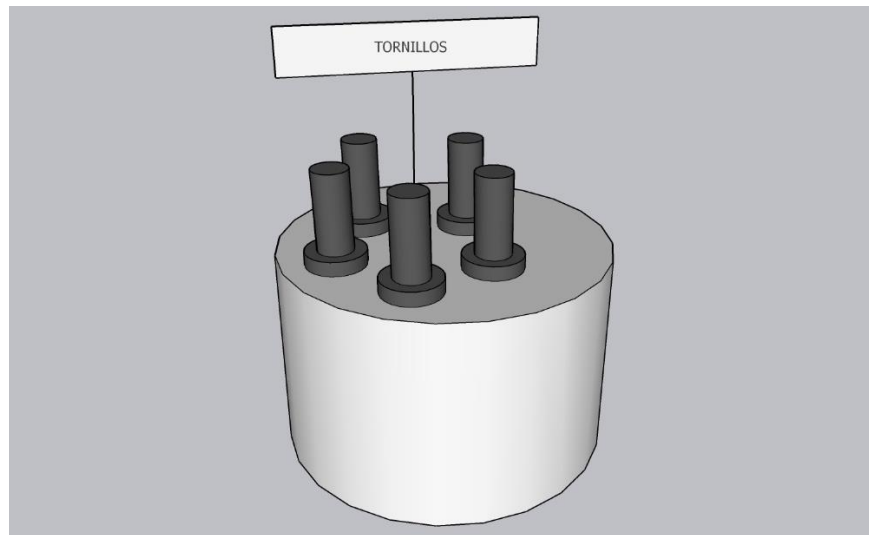
Funcionamiento: El propósito de éste es demarcar y codificar las canecas de herramientas de apoyo que se encuentran en el almacén de troquelería y los que se encuentran en diferentes puntos de la planta producción. La demarcación y codificación deberá estar dada en tipo de referencia o tipo de herramientas de apoyo y previamente señalada en el piso y en la caneca.

Lo anterior, en razón al aumento de la organización y estandarización; pues son mecanismos o elementos de fácil implementación, por la cual los operarios del proceso pueden contribuir significativamente en ella.

Adicionalmente, se propone que demarcación en el piso con el fundamento que se encuentren cerca de las máquinas y fácil visibilidad y acceso. Este tipo de propuesta también apuntaría al uso de otras técnicas de Lean Manufacturing como lo son Poka-yokes y 5S.

Representación gráfica:

Caneca de tornillos por referencia:



Impacto posible: El impacto de ésta herramienta es estandarizar las canastas; está relacionada con la organización y mejora continua del uso constante de estas herramientas, por ejemplo, de tornillos. Se reduciría un 1,5 % del tiempo (en un cambio de 6,1 h se reduciría 5,6 min.) y en desplazamiento, se reduciría en unos 22,8 metros e indirectamente se apuntaría también a la actividad de buscar elementos necesarios para el proceso.

Se puede decir que, se transformaría tiempo no productivo en tiempo productivo, que repercute en un incremento de la capacidad de producción y de la productividad de la planta; además de contar con trabajadores multifuncionales. Al implementar esta

propuesta, beneficiaría al resto de líneas ya que varias de las herramientas de apoyo son compartidas.

Es así que, se podría reinvertir el tiempo no productivo en la organización y estandarización de estas herramientas que perfeccionaría el proceso de cambio en adelante.

Propuesta de mejora No. 5: Crear *Industrial Table Car*.

Funcionamiento: Es una mesa tipo carro para el cambio de herramientas que incluye compartimientos, altura ajustable y lo mejor, que se deslice los herramientas por medio de rodillos. *Industrial Table Car* transportaría herramientas hasta 500kg. La mesa tipo carro brinda dos superficies, una para el herramental usado y otra para el herramental que se va a usar.

Las claves de esta solución innovadora son los compartimientos para herramientas como tornillos y tuercas, entre otros; y su mecanismo de palancas de ajuste para obtener la altura deseada. Lo mejor de todo es el factor diferenciador: el material puesto sobre la mesa se desliza por medio de rodillos.

Industrial Table Car brindaría un proceso de cambio de herramientas eficiente: reduce los tiempos, movimientos y costos mientras que aumenta la productividad. *Industrial Table Car* sería muy útil para todas las industrias que incorporan cambios de herramientas. Los factores que predominan en la demora son: la falta de planeación, organización, estandarización y métodos de trabajo.

Por otra parte, las actividades de limpiar máquina, limpiar puesto de trabajo, transporte del herramental y realizar mantenimiento fueron relacionadas con la organización del proceso de cambio de herramientas. Esta mejora fue encaminada en estandarizar el proceso de cambio para que las actividades sean realizadas antes de que la máquina se detenga.

En efecto, *Industrial Table Car* se pretende prestar una funcionalidad práctica y veraz para el desempeño de las labores relacionadas con el método utilizado del transporte de los herramientas para fabricar hachas y zapapicos como por ejemplo, disponer un espacio preciso para las herramientas manuales de apoyo.

De esta forma, se logrará una mayor una productividad dentro del proceso de cambio de herramientas; es fundamental mencionar que, por medio de esta herramienta el trabajador se verá menos expuesto a sufrir lesiones de tipo laboral en el cumplimiento de sus labores.

Se puede decir entonces que, el beneficio será en gran proporción para la empresa de caso de estudio debido que no solamente se verá beneficiada en su productividad y en los tiempos de la misma sino también en el cuidado y proyección de su principal medio de producción: el trabajador.

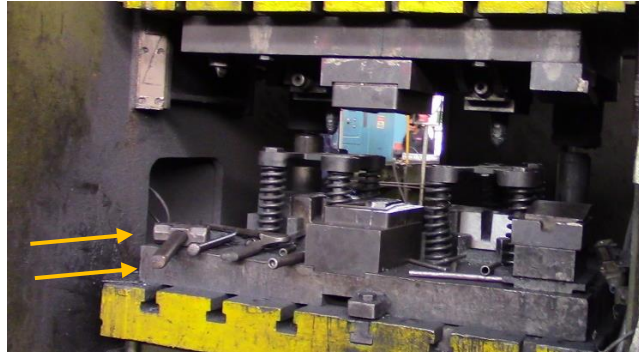
Aspectos ergonómicos: Flexibilidad para la manipulación de cargas y posturas a través del ajuste de altura y ruedas; como también, evita sostener o sujetar elementos por medio de los compartimientos y reduce los movimientos esqueléticos. Sería un producto que incorpora la practicidad, agilidad y confort para este tipo de procesos de cambios.

A continuación, se observa la mesa usada actualmente en el proceso de cambio y las herramientas de apoyo que están en la máquina y con base en ello, se elaboró la representación gráfica.

Mesa actual de alistamiento:

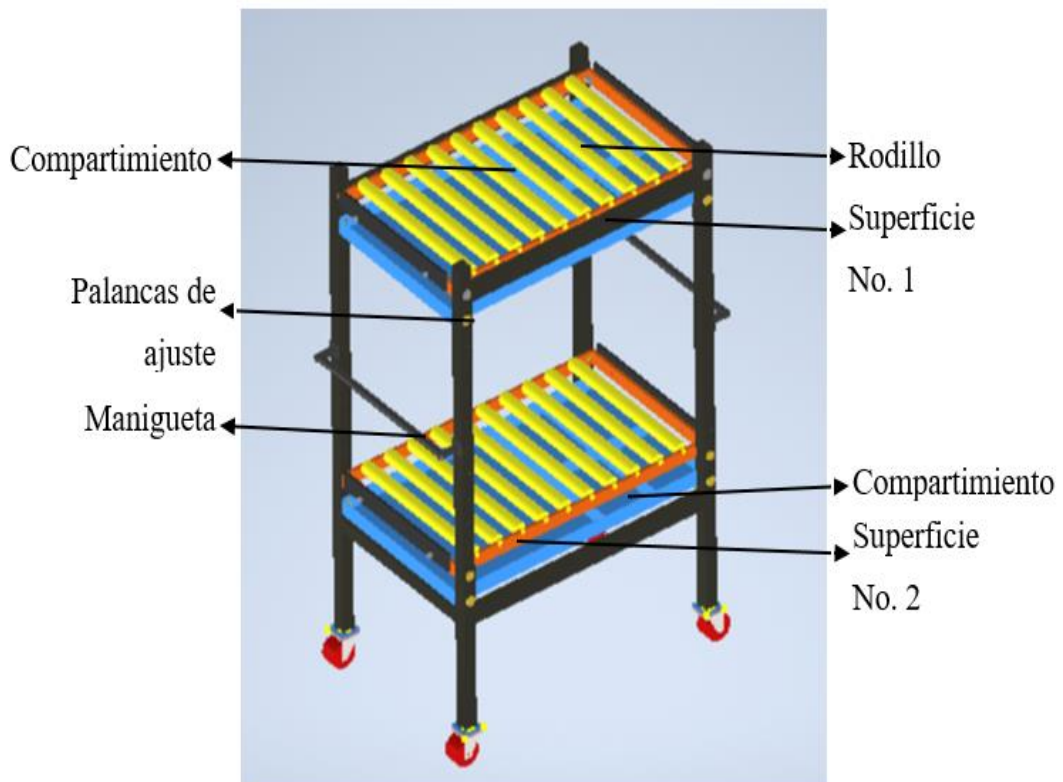


Herramientas de apoyo en el lugar de trabajo:

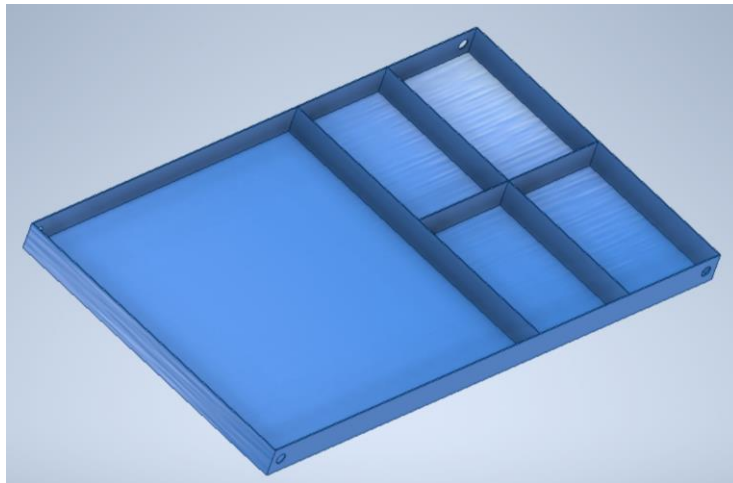


Representación gráfica:

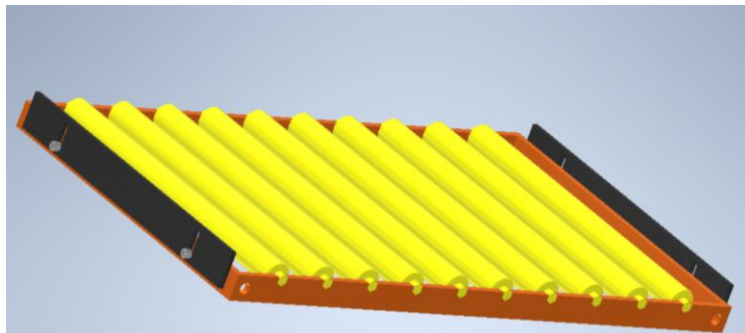
Industrial Table Car completa:



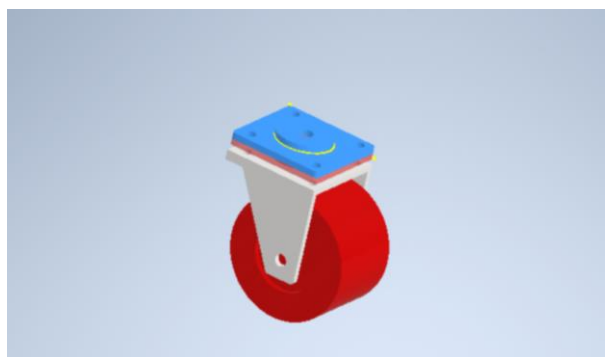
Pieza separada - compartimientos:



Pieza separada - rodillos:



Pieza separada - rueda:



Impacto posible: Con la reducción de tiempos de ajustes, cambios imprevistos de herramientas, búsqueda de objetos de apoyo, desplazamientos o por falta de

mantenimiento, esta herramienta apuntaría al ahorro de un 22 % (en un cambio de 6,1 h se reduciría 81,1 min equivalente a 1,4 h) del proceso de cambio.

Esta herramienta estaría ligada al procedimiento estandarizado del cambio de herramientas en razón a lograr el cumplimiento de la función adecuada de esta herramienta, la cual sería un apoyo para el control.

A pesar de que, actualmente la empresa cuenta con métodos mecánicos, en este caso, se pensó en un diseño más sofisticado y automatizado para facilidad de los operarios y mecánicos de línea ya que sería una herramienta de uso muy frecuente y que estaría expuesta a la polución de la planta y de las mismas piezas de contacto. Además, que en un solo lugar estaría todo lo necesario para el proceso de cambio ya que como se ha dicho anteriormente, tendría hasta compartimientos para las herramientas pequeñas y grandes.

Por supuesto que, esta propuesta podría beneficiar al resto de las máquinas y líneas en general y otro aspecto a destacar que, ayudaría a eliminar el tiempo de atornillar, desatornillar, calentar y poner a punto; además, apuntaría a la reducción de movimientos, transporte, limpieza y mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la anterior tabla, las 5 propuestas de mejoras para el caso de estudio apuntan a las actividades de medir y cuadrar altura, transportar, buscar herramientas de apoyo y realizar mantenimiento que, según tabla No. 30 fueron las actividades transformadas para el método propuesto.

Cabe mencionar que, las actividades de calentar, inspeccionar pieza, atornillar, quitar herramientas y pasar materia prima por cada proceso de producción pueden ser catalogadas como actividades que se reducen directamente con las propuestas de mejoras y el impacto posible descrito en la anterior tabla fue enmarcado como un ahorro mínimo de todo el proceso de cambio que se podría obtener.

La mayoría de las propuestas de mejoras se asociaron a la organización, estandarización y mejora continua del proceso de cambio de herramientas teniendo en cuenta la posición relativa de piezas y troqueles, sus entradas y salidas del proceso. Fue fundamental el estudio de métodos y los seis cambios observados para conocer con exactitud qué

necesidades tenía el proceso de cambio y poderlas limitar con las alternativas de mejoras, puesto que los ajustes se realizaban a base de prueba y error llegando hasta hacer el producto de acuerdo a las especificaciones y además empleando una cantidad extra de material.

Para mayor claridad, en la obtención del valor del impacto posible de las propuestas, en la tabla No. 32, se presentan los valores para conocer la reducción de los tiempos por cada cambio de referencia discriminando la reducción por cada propuesta de mejora; éstos valores, se obtuvieron a través de un consolidado general de tiempos como se observa en el anexo No. 3 (suma de los tiempos de los 6 cambios de referencia) agrupando el tiempo de las actividades que apuntaban a cada propuesta de mejora para que dichas actividades no tuvieran lugar en el método propuesto y de esta manera, conocer el tiempo de disminución.

Tabla 32. Reducción del tiempo por cada propuesta detallado

| Cambio | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Reducción total por propuesta (min) |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| Propuesta | | | | | | | |
| Duración del cambio (h) | 4,54 | 2,53 | 10,62 | 6,76 | 6,01 | 6,51 | |
| Plantillas (min) | -35 | -8 | -197 | -26 | -78 | -38 | 381,8 |
| Platinas (min) | -15 | -8 | -2 | -13 | -7 | -6 | 50,7 |
| Pintar (min) | -10 | -5 | -42 | -37 | -1 | -4 | 97,8 |
| Codificar (min) | -6 | -7 | -4 | --- | -9 | -8 | 33,3 |
| Mesa (min) | -28 | -28 | -170 | -87 | -51 | -73 | 486,7 |

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla No. 32 indica que, con la creación de *Industrial Table Car* es la que conlleva al máximo ahorro, siendo de 486,7 min aprox. en un cambio promedio de 6,1 h equivalente a 366 min. Cabe resaltar que, todas las propuestas de mejoras hacen parte de la transformación de operaciones internas a externas en el método ideal.

Seguidamente, para obtener la reducción de tiempo por cada propuesta en un cambio de 6,1 h en promedio, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro de tiempo} = \text{reducción total por propuesta (min)} / \text{número de cambio (5)}$$

Cabe anotar que, los valores que se encuentran en la tabla No. 33 son los resultados descritos en la tabla No. 32 para obtener el ahorro del tiempo:

Tabla 33. Ahorro de tiempo por propuesta global

| Propuestas | Cálculos de ahorro de tiempo | Reducción (%) | Definición |
|-------------------|--|----------------------|--|
| Plantillas | 381,8 min / 6 = 63,6 min (equivalente a 1,06 h) | ↓17,3 % | En un cambio de 6,1 h promedio se reduce 1,06 h equivalente al ahorro de tiempo del 17,3 %. |
| Platinas | 50,7 min / 6 = 8,4 min (equivalente a 0,14 h) | ↓2,3 % | En un cambio de 6,1 h promedio se reduce 8,4 min equivalente al ahorro de tiempo del 2,3 %. |
| Pintar | 97,8 min / 6 = 16,3 min (equivalente a 0,27 h) | ↓4,5 % | En un cambio de 6,1 h promedio se reduce 16,3 min equivalente al ahorro de tiempo del 4,5 %. |
| Codificar | 33,3 min / 6 = 5,6 min (equivalente a 0,09 h) | ↓1,5 % | En un cambio de 6,1 h promedio se reduce 5,6 min equivalente al ahorro de tiempo del 1,5 %. |
| Mesa | 486,7 min / 6 = 81,1 min (equivalente a 1,35 h) | ↓22 % | En un cambio de 6,1 h promedio se reduce 1,35 h equivalente al ahorro de tiempo del 22 %. |

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener este ahorro de tiempo, se debe eliminar la limpieza de la máquina y puesto de trabajo, búsqueda de herramientas, comunicación de cambios, ajuste de altura de los herramientas, verificación del montaje, mantenimiento y transporte. Las actividades mencionadas anteriormente, se deben eliminar por los criterios que fundamentan la herramienta SMED y se eliminarían a través de las propuestas de mejoras.

Adicionalmente, se reitera que en un cambio de 6,1 h promedio se reduce 1,35 h equivalente al ahorro de tiempo del 22 %, siendo *Industrial Table Car* como la propuesta de mayor ahorro de tiempo.

Así mismo, con la ayuda de la clasificación del tipo de operación a partir de la literatura, permitió abrir el panorama del valor agregado de la herramienta SMED y entender que la mayoría de las actividades observadas deberían ser planificadas y organizadas sin necesidad de recurrir a estrategias de gran costo.

10.4.2 Análisis de Costos

Para el análisis de costos en el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmecánico, se tuvo en cuenta la reducción del tiempo con las alternativas de mejoras y el costo por minuto que, según información proporcionada por la empresa estudio de caso, es de \$181 pesos por operario para el año 2020 (en la máquina Wagner fueron 2 operarios en realizar el proceso de cambio) y en un cambio de herramientas de 6,1 h en promedio. A partir de la siguiente fórmula, se obtienen los costos tal como observa en la tabla No. 34:

$$\text{Costos} = \text{tiempo de reducción por propuesta por cambio} * \$181 \text{ por minuto} * 2 \text{ operarios}$$

Tabla 34. Reducción de costos por cada propuesta detallada

| Cambio | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Reducción total por propuesta (\$) |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| Plantillas (\$) | 12.670 | 2.853 | 71.455 | 9.325 | 28.080 | 13.818 | 138.201 |

| | | | | | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Platinas (\$) | 5.365 | 2.972 | 561 | 4.731 | 2.679 | 2.042 | 18.350 |
| Pintar (\$) | 3.598 | 1.712 | 15.124 | 13.227 | 290 | 1.448 | 35.399 |
| Codificar (\$) | 1.991 | 2.556 | 1.448 | --- | 3.251 | 2.809 | 12.055 |
| Mesa (\$) | 10.259 | 10.082 | 61.382 | 31.498 | 18.600 | 26.263 | 158.084 |

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla No. 34, con la creación de *Industrial Table Car* sería la propuesta de mayor ahorro de costos.

De forma general, se puede observar que los cambios pueden ser favorecidos en temas económicos con las propuestas planteadas que apuntan de manera significativamente al ahorro de tiempo y de costos.

Seguidamente, para obtener la reducción de costos en un cambio de 6,1 h en promedio, se aplicó la siguiente fórmula, viéndose reflejados los valores en la tabla No. 35:

$$\text{Ahorro de costo} = \text{reducción total por propuesta (\$)} / \text{número de cambio}$$

Tabla 35. Ahorro de tiempo vs ahorro de costos por propuesta global

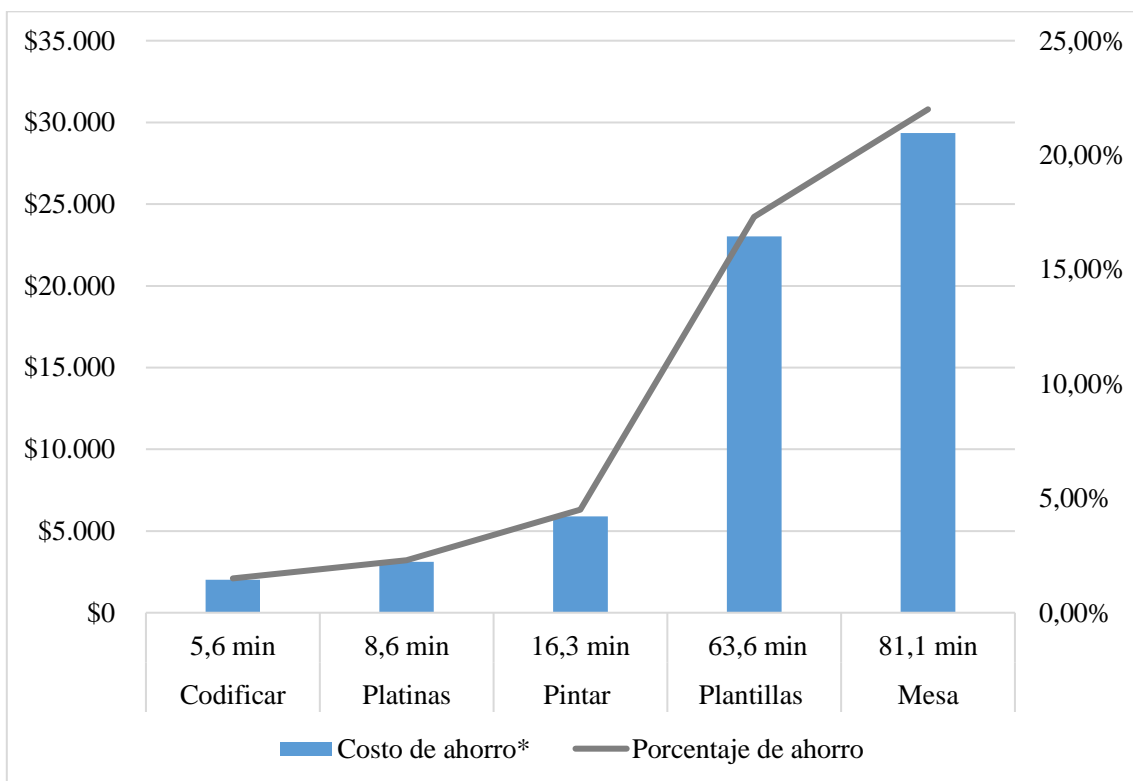
| Propuestas | Cálculos de costos | Definición |
|------------------------|----------------------------|---|
| Plantillas (\$) | $\$138.201 / 6 = \23.023 | En un cambio de 6,1 h promedio se ahorra \$23.023 lo que representa en un 17,3 %. |
| Platinas (\$) | $\$18.350 / 6 = \3.058 | En un cambio de 6,1 h promedio se ahorra \$3.058 lo que representa en un 2,3 %. |
| Pintar (\$) | $\$35.399 / 6 = \5.900 | En un cambio de 6,1 h promedio se ahorra \$5.900 lo que representa en un 4,5 %. |
| Codificar (\$) | $\$12.055 / 6 = \2.009 | En un cambio de 6,1 h promedio se ahorra \$2.027 lo que representa en un 1,5 %. |

| | | |
|------------------|----------------------------|---|
| Mesa (\$) | $\$158.084 / 6 = \29.347 | En un cambio de 6 h promedio se ahorra \$29.347 lo que representa en un 22,5 %. |
|------------------|----------------------------|---|

Fuente: Elaboración propia.

A través de este análisis, se pretende conocer los costos futuros calculados para una alternativa de decisión; este análisis es fundamental para la toma de decisiones, ya que debe entenderse cuidadosamente el costo incurrido al inicio y final de una decisión, antes de hacer realizar el proyecto. En la tabla No. 36, se presentaron las propuestas de mejoras soportadas en un análisis de costos del proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales:

Tabla 36. Representación del ahorro en costos y en tiempos



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de costos brinda la oportunidad de juzgar el costo-efectividad de las iniciativas. Por ejemplo, según las propuestas de mejoras, la de mayor beneficio es la de crear la

herramienta *Industrial Table Car*, pues se obtendría un ahorro del 22 %, es decir, con un ahorro de \$29.347 por cada cambio de 6,1 h en 25 cambios al mes, se obtendría un ahorro de \$733.675. De acuerdo con lo anterior, el tiempo de ahorro podría ser utilizado para realizar más piezas de hachas y zapapicos; como también, reducir costos y aumentar la productividad. También, se pudo determinar que a mayor tiempo de ahorro, mayor será el ahorro en costos.

La mayor ventaja de la implementación de *Industrial Table Car* es que se eliminarían todas las actividades que, por criterios del SMED no deben hacer parte de ningunas de las operaciones (internas o externas) en el método propuesto. En cambio, las otras propuestas de mejoras apuntarían a muy pocas actividades que no deberían estar con la implementación del SMED.

Por tanto, con la estrategia anterior, ayudaría a la empresa a decidir si la iniciativa estaría entregando valor y serviría como guía para mejorar el rendimiento y con la planificación empresarial del proceso de cambio de herramientas.

11 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se da respuesta a la pregunta de investigación: ¿Qué propuestas de alternativas de mejoras en el proceso de cambio de herramientas se deben utilizar en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales bajo el Single Minute Exchange of Die?

De acuerdo a la metodología de la investigación, el objeto de estudio, la información y datos analizados, indican que se puede mejorar el proceso de cambio de herramientas con las alternativas de mejoras que se centraron en la estandarización, organización, mejora continua y los criterios fundamentales del SMED.

Con lo anterior, el operario estará enfrentando a un proceso más flexible y seguro, sin la objetividad de quién realiza el cambio. A continuación, se presentan las propuestas planteadas como se observa en la ilustración No. 50:

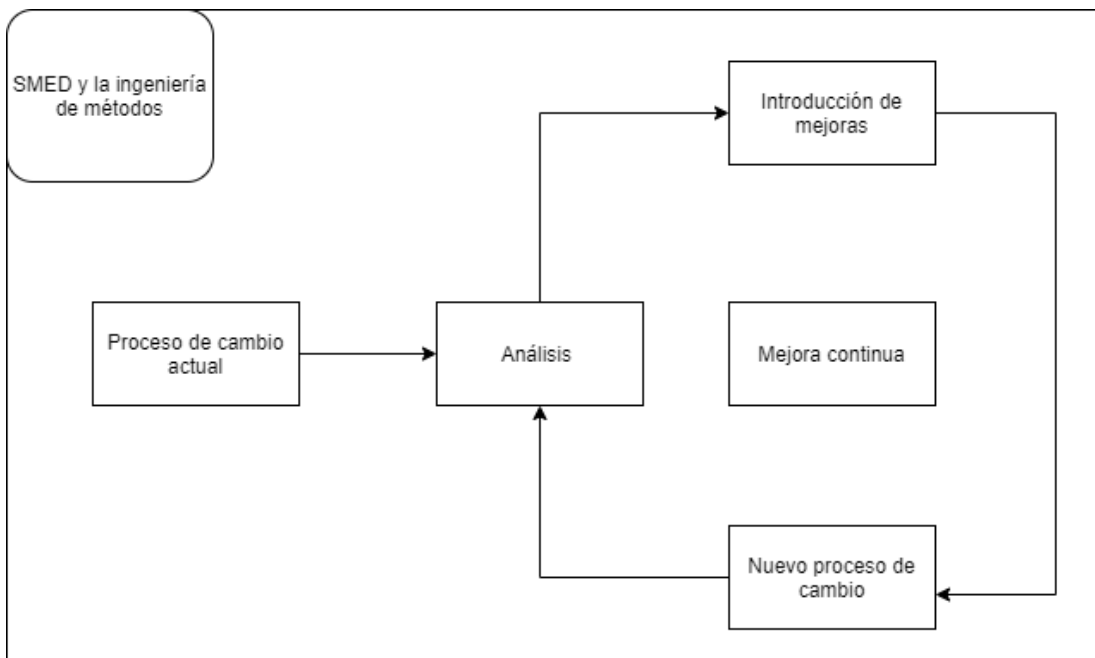
Ilustración 50. Propuestas de mejoras planteadas para el proceso de cambio de herramientas



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, el potencial reside especialmente en la integración de la herramienta SMED con la ingeniería de métodos y que se utiliza el estudio de tiempos y movimientos para complementar no sólo mejoras en los tiempos, sino en métodos de trabajo, eficiencia de equipo y reducción de costos. En la ilustración No. 51, se relaciona la interacción entre ambas herramientas:

Ilustración 51. Integración del SMED y la ingeniería de métodos



Fuente: Elaboración propia.

11.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMIENTALES

11.1.1 Operarios

De acuerdo a los resultados obtenidos, todos los operarios pertenecen al nivel competente contando con más de 10 años de experiencia y han sido entrenados para que todos pueden realizar la operación con seguridad y sin supervisión; lo que conlleva a pensar que, el proceso de cambio ha sido conducido por la experiencia de los operarios y al ensayo y error prescindiendo de técnicas de mejoramiento y de la caracterización propia del proceso.

Lo anterior significa que, el paradigma que se tiene con las personas de mayor tiempo de experiencia es que, existe gran resistencia al cambio; en este caso, la mayoría de los operarios se notaron con excelentes actitudes, abiertos al diálogo y a la mejora.

Finalmente, se detectó que a los operarios los rotan por otras líneas de producción en razón a la disponibilidad de turnos; como también, del plan de producción y de cierta manera, a la mitigación de monotonía y fatiga.

11.1.2 Máquinas y Herramientas

De acuerdo a la revisión de la literatura y vigilancia tecnológica, la mayoría de procesos de cambio de herramientas se realizan por medio de herramientas automáticas y neumáticas. De esta manera, permite que el proceso de quitar y poner sea más rápido y efectivo; además de contar con formatos estandarizados y especializados para poner a punto los troqueles como se observa en la tabla No. 31.

Es preciso mencionar que, la herramienta SMED es apropiada para estudiar y analizar un proceso de cambio de herramientas y este proceso se hace siempre desde una máquina prensa; la diferencia es el tamaño de máquina, lotes de producción y el tipo de producto final. Sin embargo, desde la revisión se notó que también ha sido aplicado en actividades administrativas como por ejemplo, en inventarios o en preparación de materias primas.

A pesar de que el SMED es posible aplicarlo en líneas de producción y en máquinas según los antecedentes, en este caso, la investigación se enfocó sólo en la prensa Wagner de las líneas de hachas y zapapicos en razón a que, es la que toma más tiempo para el proceso de cambio de herramientas y es la que tiene más pasos de producción.

11.1.3 El Proceso

De acuerdo a los resultados obtenidos, se detectó que la implementación de la herramienta SMED en este tipo de proceso fue adecuado ya que en éste incluyen múltiples herramientas y troqueles; para que el cambio sea adecuado debe tener aspectos de base para producir o ejecutar el proceso sin contra tiempos.

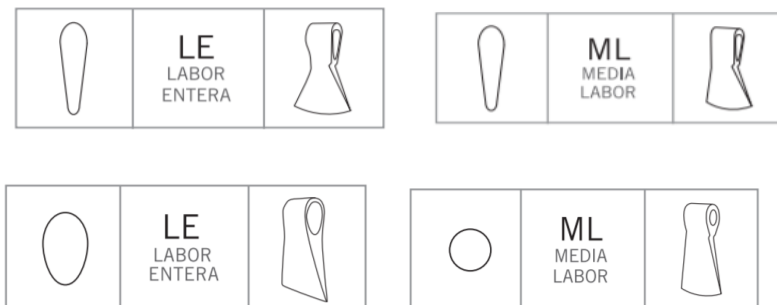
Sin embargo, en el proceso de cambio, se notó múltiples fallas pero que a medida de avance de la investigación se fue entendiendo la raíz de la problemática. Por ejemplo, en las líneas de hachas y zapapicos se tiene gran variedad de referencias y para ello, se cuentan con diferentes tipos de herramientas (son troqueles compuestos puesto que se puede hacer dos o más actividades al mismo tiempo): guías, platos, troqueles machos, troqueles hembras, pisador, punzones como se observa en la ilustración No. 52 y 53, entre otros para cubrir la demanda de productos que ofrece la empresa.

Ilustración 52. Tipo de punzones



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 53. Tipo de óvalos para las hachas



Fuente: Elaboración propia.

Al momento de realizar el proceso de cambio, no se contaba con una excelente estandarización y organización trayendo consigo múltiples ajustes, retrasos y reprocesos. Posteriormente, se identificaron que existen actividades manuales y repetitivas que debe realizar el operario para el proceso de cambio de herramientas; entre ellas, se encontraron las acciones de atornillar y desatornillar, las cuales se analizaron y por minuto se puede obtener más de 30 repeticiones en el mismo movimiento. En la ilustración No. 54 se muestra el momento de acción:

Ilustración 54. Operación de atornillar



Fuente: Elaboración propia.

Gracias a la metodología SMED, se conocieron los criterios claves para poner fin a las necesidades, y es que permite disminuir el tiempo que se pierde en las máquinas cuando se pasa de un producto A a un producto B (Guzel y Asiabi, 2020). A continuación, se exponen algunos de los beneficios:

- ❖ Reducir el tiempo de preparación.
- ❖ Potencializar el tiempo productivo.
- ❖ Reducir el tamaño del inventario.
- ❖ Reducir el tamaño de los lotes de producción.
- ❖ Producir en el mismo día varios modelos en la misma máquina o línea de producción.

Cabe mencionar que, la reducción del tamaño de inventarios está directamente relacionada con la reducción del tamaño de los lotes de producción. Lo anterior obedece a que, a menor tamaño de lotes de producción menor será el lote de inventarios. A lo anterior, también se suma la mayor flexibilidad y flujo en el área de inventarios.

Como parte de la caracterización del proceso de cambio de herramientas, era pertinente identificar las unidades producidas por cada cambio. En la tabla No. 37, se presentan las unidades producidas por cambio, los cuales fueron proporcionados por la empresa objeto de estudio.

Tabla 37. Unidades producidas por cada cambio

| Número de cambio | Producto A | Producto B | Unidades producidas del producto B |
|--------------------|----------------|---------------|------------------------------------|
| Primera vez | 3105 de 5lb | 3105 de 7lb | 2,226 |
| Segunda vez | 3100 de 5lb | 3105 de 5lb | 16,843 |
| Tercera vez | 3105 de 4.5 lb | 4315 de 5lb | 171 |
| Cuarta vez | 4311 de 3lb | 4310 de 4lb | 555 |
| Quinta vez | 4313 de 3.5 lb | 4313 de 6lb | 300 |
| Sexta vez | 3105 de 5lb | 3105 de 1.5lb | 118 |

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos anteriores, no se observa un flujo continuo de la toma de tiempos debido a que los cambios se reflejaban en horario nocturno y fines de semana; aun así, se observa que los lotes de producción son bajos lo que indica que muy frecuentemente se realizan cambios de herramientas, bien sea de hachas o zapapicos. Es un punto a favor en la implementación puesto que es una de sus bondades según la teoría (Guzel y Asiabi, 2020) y potenciaría mucho más su utilización.

11.2 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES

11.2.1 Estudio de Tiempos

Con la investigación, se logra disminuir los tiempos de preparación en las operaciones que conforman el proceso de cambio de herramientas a través de la propuesta de aplicación de la metodología SMED y el estudio de tiempos donde se realiza la estandarización de tareas de preparación a fin de permitir la flexibilización de las líneas de producción. Aunque, a partir de la revisión de la literatura, no existe entre el 2010 y 2020 un estudio de caracterización, movimientos y tiempos en este proceso, no ha sido una dificultad para su implementación y obtención de resultados. Por el contrario, ha sido de gran ventaja la articulación de estas 2 herramientas como lo fue el SMED y el estudio de tiempos. Hasta el momento, el autor Brito y Gonçalves, 2020 ha trabajado en la articulación del SMED y la ergonomía en función de cambio de utillaje.

Con la medición del trabajo, a través del estudio de tiempos con vídeo de grabación, el autor Stadnicka, 2015, llegó a determinar que el porcentaje de duración más alto correspondiente en un 31 % hacía parte del cambio de herramientas que durarán menos de 4 horas; en este caso, es la excepción pues el tiempo promedio de un cambio es de 6 horas y con 33 % indica que la frecuencia de cambio corresponde a pocas veces al día y es estrechamente relacionado con este último punto.

11.2.2 Estudio de Movimientos

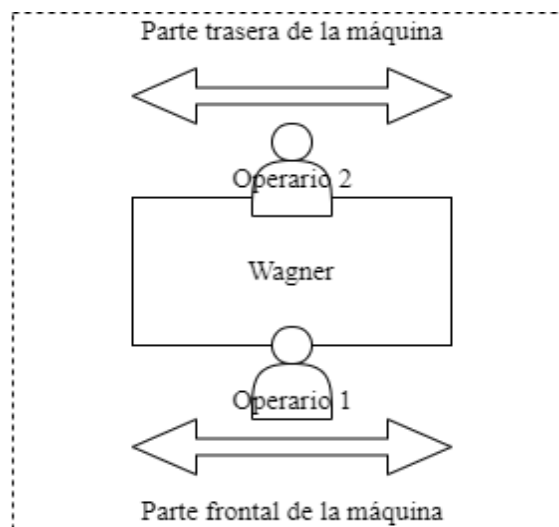
Según la revisión de literatura, no existe entre el 2010 y 2020 un estudio de caracterización, movimientos y tiempos en el proceso de cambio de herramientas; aun así, la mejora continua es una herramienta también utilizada por las empresas que se centran en lidiar con esta situación de tal manera que les permita crear productos con más valor para el cliente, aumentar la diversidad y la personalización, y acortar la entrega veces.

Indiscutiblemente, la herramienta SMED demostró ser adecuada para reducir los tiempos de configuración y consecuentemente reduciendo lotes de producción y plazos de entrega. Además, las empresas se ocupan del aumento de las enfermedades profesionales relacionadas con problemas musculoesqueléticos debido a las malas posturas de los

trabajadores. Las empresas deberían incluir análisis ergonómicos en las herramientas de gestión, como las herramientas de fabricación ajustada y proyectos de mejora continua, si quieren resolver este problema.

Por lo tanto, se recomienda que los operarios trabajen paralelamente durante el cambio para articular las mejoras ergonómicas en dicho proceso y reducir los tiempos de configuración. El trabajo beneficioso sería el que se refleja en la ilustración No. 55:

Ilustración 55. Trabajo propuesto para los operarios durante el cambio



Fuente: Elaboración propia.

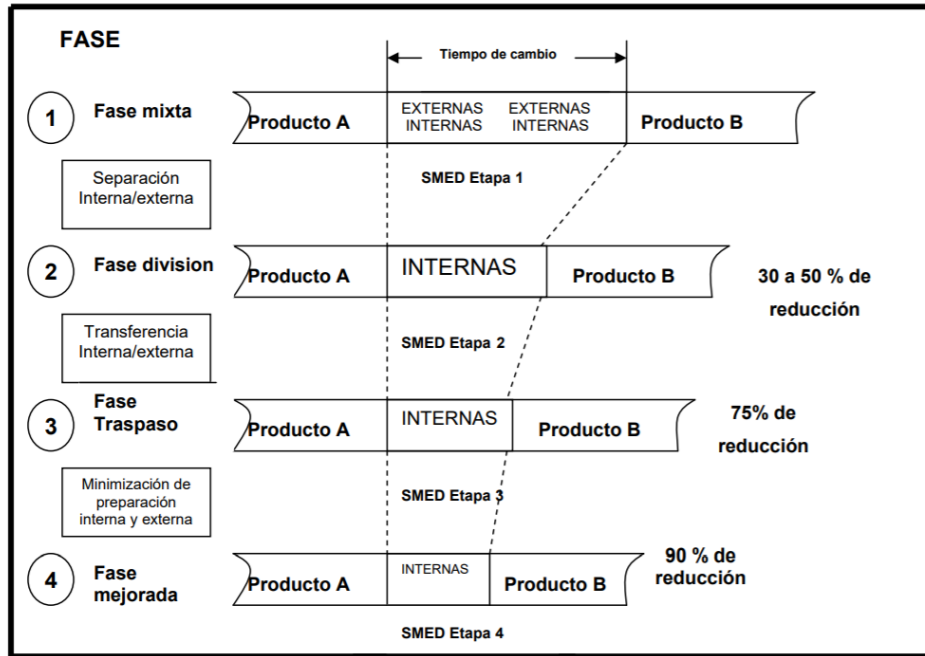
11.3 CLASIFICACIÓN DE LAS OPERACIONES INTERNAS Y EXTERNAS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMENTALES

Según los resultados obtenidos, el SMED fue indispensable para la búsqueda de la preparación previa, monitoreo de tiempos de configuración, dispositivos y herramientas de soporte que se utilizará en el momento del proceso de cambio. Según los autores, Ekincioglu y Boran, 2018, complementa que las operaciones internas y externas deben revisarse periódicamente para la mejora de calidad del proceso; soporta además que, el diseño de propuestas deben estar encaminadas al incremento de la capacidad productiva, disponibilidad y flexibilidad de la máquina y de los métodos usados.

Gracias a los criterios fundamentales de la SMED, se permitió clasificar del método actual cuáles serían las operaciones internas y externas y de acuerdo a la ilustración No. 56

explica que la investigación aplicó una reducción del 30 % a 50 % en el hecho de haber separado o dividido las operaciones.

Ilustración 56. Reducción del tiempo según implementación de la fase del SMED




Fuente: Ekincioglu y Boran, 2018

11.4 ALTERNATIVAS DE MEJORAS SOPORTADAS EN UN ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO DE CAMBIO DE HERRAMIENTALES EN LAS LÍNEAS DE HACHAS Y ZAPAPICOS EN UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO DE MANIZALES

A través de la revisión de la literatura, a cerca de las mejoras implementadas mediante la herramienta SMED se pudo encontrar que, más del 60 % de las acciones hacen parte a la configuración y adecuación de la tecnología blanda. De esta manera, se entiende que, la eficiencia de la herramienta SMED empieza por la estandarización y organización de las operaciones con las que se cuenta inicialmente y es por ello, se plantearon las 5 propuestas de mejoras. En la tabla No. 38, se muestran las acciones implementadas en diferentes sectores como metalmecánico, bebidas, automotriz, calzado, entre otras. Adicionalmente, la identificación del tipo de método y su descripción.

Tabla 38. Revisión de la literatura sobre mejoras implementadas

| Tipo de método | Acción implementada | Descripción |
|-----------------|--|--|
| Estandarización |  <p data-bbox="512 1214 1226 1242">Fuente: Martins, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. y Matias, J., 2018.</p> | <p data-bbox="1314 358 1890 885">Existen formatos o plantillas que permiten mayor facilidad en el momento de la puesta a punto. El objetivo de este tipo de acción es comprobar la alineación, altura y longitud de la pieza que se desea fabricar sin necesidad de desperdiciar materia prima de altos costes; ésta plantilla da lugar a la estandarización y organización. Además, es utilizada en diferentes sectores industriales como automotriz y calzado.</p> |

| | | |
|---------------------|---|---|
| <p>Organización</p> |  <p>Fuente: Bartz, T, Mairesse, J. C. y Garcia, M., 2012.</p> | <p>Según los autores Bartz, Mairesse, y Garcia indican que la mesa con ruedas permite agilidad en el cambio a razón de que los objetos necesarios pueden ser desplazados con mayor facilidad y sin esfuerzo. Además, permite encontrar visualmente los elementos con rapidez aunque en ocasiones, el tamaño y estructura física no sean adecuadas. Finalmente, este objeto es usado en el sector metalmecánico.</p> |
| <p>Organización</p> |  <p>Fuente: Desai y Rawani, A.M., 2017.</p> | <p>Los autores Desai y Rawani propusieron una especie de mesa con compartimientos y que se pudiera desplazar. La función de la herramienta es reducir el tiempo de búsqueda de las herramientas y organizar las llaves inglesas y llaves Allen. En la literatura se ha podido observar que esta mejora es de las más usadas.</p> |

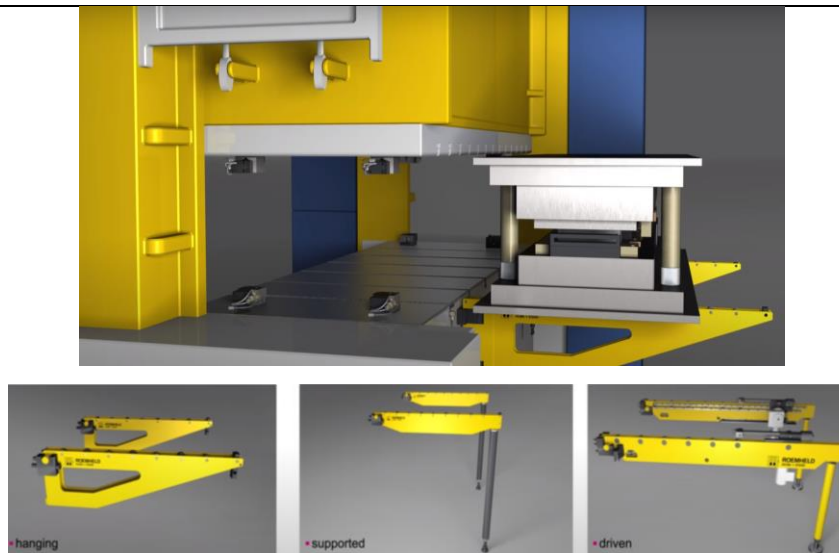
Organización



Fuente: Bartz, T., Mairesse, J. C. y Tafarel, E., 2012.

Otro mecanismo de organización encontrado en la literatura es el mobiliario, el cual es ubicado al lado de la línea de bebidas como se muestra en la imagen; éste elemento, al igual que el anterior, permite observar el orden e identificar visualmente los objetos rápidos gracias a las divisiones de madera construido por la herramienta SMED y la técnica de 5S.

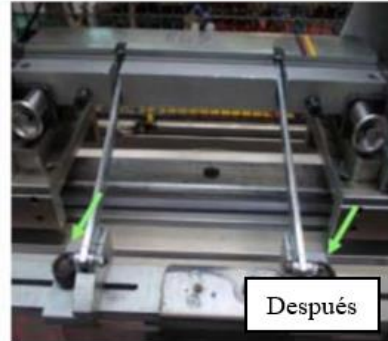
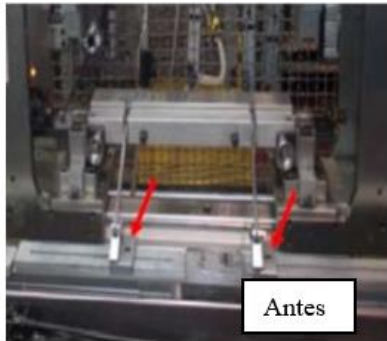
Organización



Fuente: Parisotto, C. y Pacheco, D., 2016.

Esta clase de sujetadores o conocidas como consolas de transporte ha contribuido en la facilidad para montar o desmontar el paquete completo de herramientas. Su uso es facilitar el agarre del montacarga o semigrúa. Además, los herramientas son desplazados por medio del sistema de rodillos con las que cuenta éstas consolas. Finalmente, existen diferentes clases como lo son: colgada, soportada y de impulso.

Estandarización



Fuente: Rosa, C., Silva, F. J. G., Pinto, L. y Campilho, R., 2017.

De acuerdo con la literatura, la mayoría de los procesos de cambios de herramientas son manuales y una de las alternativas de mejora en el momento de montajes o desmontajes es el uso de herramientas de agarre rápido. Esta mejora es una de las implementadas para reducir el tiempo en las operaciones mencionadas anteriormente y es usada en industrias de automotriz.

| | | |
|------------------------|---|--|
| <p>Estandarización</p> |  <p>Fuente: Desai y Rawani, A.M., 2017.</p> | <p>Este es un tipo de mecanismo que permite incorporar llaves hexagonales y cumple con la función de extracción de tuercas y tornillos.</p> <p>La literatura indica que se observa que cerca alrededor del 47 % de las actividades relacionadas con la reparación y eliminación de tuercas y tornillos y estas actividades se llevan a cabo por a mano, es por ello ésta es una de las modificaciones importantes en el momento del cambio de configuración.</p> |
| <p>Organización</p> |  <p>Fuente: Roriz, C., Nunes, E. y Sousa S., 2017.</p> | <p>Los autores Roriz, Nunes y Sousa propusieron demarcar las referencias de las herramientas de apoyo y de materia prima. Después de la separación de herramientas y/o materiales útiles, se definió ubicaciones adecuadas siendo lo apropiado en el almacén a partir de las observaciones hechas en los cambios de producción.</p> <p>Luego, estos elementos eran seleccionados por el operario y cargados en el carro</p> |

| | | |
|---------------------|---|--|
| | | <p>soporte durante la actividad externa de preparar.</p> |
| <p>Organización</p> | <div data-bbox="638 337 1104 792" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="646 813 1094 837">Fuente: Roriz, C., Nunes, E. y Sousa S., 2017.</p> | <p>Para esta acción, se proporcionó un carro de soporte para la organización de las herramientas de apoyo. Fue equipada con componentes de uso rápido y herramientas de soporte, minimizando así algunos de los traslados al almacén. El propósito de este carro también era ayudar a la preparación de la actividad externa, actuando como soporte para las herramientas que se requerirán. Los autores indican que, fue posible verificar que el operador necesitaba la ayuda de algunas herramientas para ajustar la máquina pero no siempre estaban disponibles.</p> |

| | | |
|--------------|---|--|
| Organización |  <p data-bbox="751 686 989 711">Fuente: Lipiak, J., 2017.</p> | <p data-bbox="1312 233 1892 867">El autor Lipiak indicó que el operario tomaba mucho tiempo en obtener el material que necesitaba. Lo anterior, lo llevó a usar una de las técnicas de Lean Manufacturing, 5S. Además puntualizó que las herramientas presentes en la estación de trabajo deben tener un lugar específico para evitar que se dispersen y se mezclen. Finalmente, reveló que justo al terminar el turno, los operarios deben velar por mantener la técnica para que no dificulte más el proceso de configuración de la máquina.</p> |
|--------------|---|--|

Fuente: Elaboración propia.

Otros autores como Jebaraj, Murugaiah y Srikamaladevi, 2013 proponen: usar menos pernos o más cortos, usar herramientas neumáticas, usar pasadores y guías centrales, estandarizar las alturas de troquel, ajustar la temperatura y la velocidad a una velocidad predeterminada y el autor Espin, 2013 propone generar documentación sobre el nuevo procedimiento de trabajo, que puede incluir documentos escritos, esquemas o nuevas grabaciones de vídeo.

Por otra parte, se realizó una revisión en la base de datos de patentes llamada Patentscope con palabras claves para buscar a nivel global herramientas, utensilios o máquinas para reducir el tiempo de cambio de herramientas. En Patentscope, se encontró “Clamping mechanism of machine tool achieving single minute exchange of dies (SMED)” identificado bajo el No. 204308230, fue publicado el 06/05/2015 y el cual consiste en un mecanismo de sujeción que tiene las ventajas de que, durante el proceso de SMED, la amplitud de despliegue de las mordazas de sujeción se puede cambiar rápidamente en función del sistema de control, y se garantiza la fiabilidad de las piezas de sujeción de diferentes especificaciones.

De acuerdo con lo anterior, la integración de la herramienta SMED y la ingeniería de métodos establecen que se deben implementar herramientas como mesas de alistamiento, lugar de almacenamiento y disposición previamente demarcados, preferiblemente por colores; al igual de que los herramientas se encuentren codificados y que exista un procedimiento claro de la secuencia de las operaciones que influyen.

Es por ello que, se plantearon las siguientes propuestas: diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas, estandarizar las platinas, pintar las herramientas de apoyo, codificar las canecas de herramientas de apoyo y crear *Industrial Table Car*. Las propuestas podrían reducir el tiempo hasta en un 22 % en promedio (teniendo como base un cambio de 6,1 h) y para las cuales, se tuvo en cuenta la eliminación de actividades como desplazamiento, búsquedas, mantenimiento, ajustes y, la incorporación de seguridad y ergonomía. Las propuestas son unas alternativas que, se tendrían que validar en un proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos.

12 CONCLUSIONES

El SMED se fundamentó en reducir operaciones internas en operaciones externas de preparaciones y cambio de herramientas en máquinas troqueladoras que hacen parte del sector industrial. Fue una herramienta fundamental para mejorar y optimizar recursos, haciendo énfasis en tiempos, costos, movimientos y productividad. Se entendió que, la eficiencia de la herramienta SMED empieza por la estandarización y organización de las operaciones para obtener un método ideal más flexible y sin desgastes; además, permitió separar en teoría las operaciones internas y externas.

Se determinó que, es posible reducir el tiempo de cambio con la ayuda de acciones de mejoras dirigidas a equipos, herramientas, almacenamientos, mantenimientos y al personal involucrado. Las mejoras están relacionadas con la estandarización del cambio tanto en la parte de tecnología dura como en tecnología blanda. Algunas de las mejoras, hacen parte de la disminución o eliminación de los movimientos a causa de los transportes de herramientas; así como también, las operaciones de buscar y ajustar deben disminuir para el método ideal.

A través de la revisión sistemática de literatura se mostró que, con la implementación del SMED se reduce el tiempo de cambio en las máquinas y en las líneas de producción. En líneas de producción es donde no se cumple el criterio de cambio (tiempo de configuración sea en menos de 10 minutos) debido a que no siempre hacen cambios en paralelo.

En los últimos 10 años, la herramienta SMED fue utilizada eficazmente en industrias como el calzado, textil, automotriz, alimentos, metalmecánico, eléctrico y gráfico para mejorar el cambio de formato en máquinas o líneas de producción. En contraste, no se evidenció la aplicación en el sector militar e industrias de fabricación de envases de lata.

Se aplicó la primera etapa de la metodología SMED propuesta por el autor Gil et al., (2012) para validar los criterios fundamentales de la herramienta y determinar que fue posible una alineación con otras herramientas de mejora continua como lo fue con la estandarización de procesos por medio de la ingeniería de métodos. De esta manera, dar inicios a posibles nuevos campos de investigación y articulación de herramientas flexibles para el sector

industrial. En ese sentido, para procesos de cambio de herramientas es oportuno implementar la herramienta SMED junto con la ingeniería de métodos.

Se caracterizó el proceso de cambio de herramientas en las líneas de hachas y zapapicos en una empresa del sector metalmeccánico de Manizales obteniendo las entradas, salidas, la secuencia de las operaciones, las necesidades, identificación del uso de la máquina y herramientas de uso. Se concluye que, para este tipo de cambio donde el tiempo es el reflejo de gastos, la materia prima, las herramientas, troqueles y mantenimiento deben de tener una actividad de pre alistamiento en el que se indique que dichos aspectos se encuentren en buenas condiciones. Lo anterior, para que en el momento de su utilidad no se tengan retrasos en términos de tiempos.

Se identificó que, la puesta a punto fue la operación de mayor participación del proceso de cambio de herramientas, debido a que en ésta recurren los ajustes y ensayos que se prescindieron en las operaciones externas. En el momento de encontrar un método ideal óptimo deberá desaparecer la operación de puesta a punto.

Para el proceso de cambio de herramientas, se necesitan las herramientas manuales tales como pinzas largas, llaves en L, llave semineumática y barra. Herramientas que cuenten con una flexibilidad en el uso y que se encuentren previamente identificadas y en el alistamiento para evitar una búsqueda en el almacenamiento; siendo este un punto importante a la hora de realizar el proceso de aliste.

Se concluyó que, existe una buena distribución del puesto de trabajo y que los operarios de las líneas de hachas y zapapicos son competentes y cuentan con más de 10 años de experiencia en dicha labor; aun así, sería de beneficio implementar las 5 propuestas de mejoras planteadas para coayudar en la labor que realiza el operario.

A través del uso de la ingeniería de métodos, se identificaron los recorridos realizados por el operario para la obtención de objetos de apoyo y los movimientos en las operaciones de atornillar y desatornillar los herramientas.

La ayuda del cursograma analítico y diagrama de corrido fueron de gran ayuda para identificar distancias recorridas y consolidar en un único diagrama la secuencia de las

actividades realizadas en el proceso de cambio de herramientas para este tipo de sector industrial. El método de movimiento adecuado para esta clase de proceso es el de formar un equipo de trabajo y realizar el cambio en paralelo de tal manera que en ambos lados realizan las mismas actividades para evitar el trabajo desarticulado y la clasificación de movimiento fue la II en donde se hace uso las manos y dedos. Adicionalmente, se concluye que las canecas de almacenamiento en la planta de producción deben ser reubicadas previamente identificadas y que se encuentren en el lugar de almacenamiento dispuesto para estas herramientas, en razón que se pueda realizar el alistamiento de las adecuadas en el mismo momento que se alista los herramientas.

El estudio de tiempos identificó que, este tipo de proceso dentro de una organización es más dispendioso cuando sus actividades son manuales y operativas. Es por ello que, el proceso se somete a largas jornadas de cambio hasta cumplir con el objetivo. Sumado a lo anterior, el desgaste físico, mental y la postura que acarrea la jornada independiente del tipo de referencia a cambiar.

A través del estudio de tiempos, se concluyó que las operaciones de desmontaje y montaje de herramientas son considerados como operaciones que requieren de un grado medio-alto en términos de concentración, puesto que desde allí depende que la producción cumpla con el factor de calidad. Seguidamente, se identificó que el tiempo estándar de 16,46 h corresponde al cambio de zapapicos por hachas en donde se dispone de grandes recursos y logística para realizar dicho cambio, siendo el de mayor tiempo.

Fue importante transformar las configuraciones internas en configuraciones externas y así reducir el tiempo requerido para los cambios, por ejemplo, la acción de buscar herramientas debería estar en la clasificación de operaciones externas; en general, fue una cuestión de diferenciar entre ambos tipos de ajustes, estudiarlas y encontrar cuellos de botella. Lo anterior, con el objetivo de mejorar el proceso de cambio a través de diversas propuestas de solución donde se destaca la estandarización de las actividades. Para el método ideal, las actividades de buscar herramientas, cuadrar altura, transportar herramientas, medir altura y realizar mantenimiento fueron clasificadas como operaciones

externas y de esta manera, se utilizaría los criterios fundamentales de la herramienta SMED.

Las actividades de calentar, inspeccionar pieza, atornillar, quitar herramientas, pasar materia prima por cada proceso de producción fueron catalogadas como actividades que se reducen directamente con las propuestas de mejoras que apuntan a las actividades de cuadrar altura y buscar herramientas de apoyo y el impacto posible fue enmarcado como un ahorro mínimo de todo el proceso de cambio que se podría obtener.

Las propuestas de mejoras se asociaron a la organización, estandarización y mejora continua del proceso de cambio de herramientas. A partir de lo anterior, se obtuvieron las siguientes propuestas: diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas, estandarizar las platinas, pintar las herramientas de apoyo, codificar las canecas de herramientas de apoyo y crear *Industrial Table Car*. Cabe resaltar que, no sólo en las líneas de hachas y zapapicos se podrían utilizar sino también, en las otras líneas de producción del sector agro, construcción y jardinería.

Al diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas se apuntaría a la reducción o eliminación de las actividades de cuadrar, medir y pulir herramientas, obteniendo un ahorro del 17,3 % del tiempo y en costos. Con la estandarización de las platinas, se podría fin a la actividad de verificar altura, obteniendo un ahorro del 2,3 % en tiempo y costos. Al momento de pintar las herramientas de apoyo se suprimiría la tarea de buscar y ensayar herramientas, así como también, la reducción de movimientos; de esta manera, se obtendría un 4,5 % de ahorro del tiempo y en costos.

Seguidamente, al codificar las canecas de herramientas de apoyo se obtendría un ahorro del 1,5 % en costos y tiempos y se reduciría las actividades de organizar y buscar tornillos. Por último, con la creación de *Industrial Table Car* se obtendría un ahorro del 22 % en los 2 recursos y se apuntaría a la reducción de ajustes y reprocesos de las actividades de buscar herramientas, cuadrar altura de los herramientas, transportar herramientas, medir altura y realizar mantenimiento.

Por medio del análisis de costos, se concluyó que la propuesta de mejora de mayor beneficio es la de crear la herramienta *Industrial Table Car*, pues se obtendría un ahorro del 22 %; actualmente el proceso de cambio tiene un valor de \$132.492 por un turno de 6,1 h (3 turnos al día) y en un mes, se obtendría un ahorro de \$11'924.280. De acuerdo con lo anterior, en dos meses se podría cubrir con el ahorro, la compra de la máquina y sería de beneficio para el proceso de cambio, no solo para las líneas de hachas y zapapicos sino también del resto de líneas de producción.

Por tanto, con la estrategia anterior ayudaría a la empresa a decidir si la iniciativa estaría entregando valor y serviría como guía para mejorar el rendimiento y con la planificación empresarial del proceso de cambio de herramientas.

Finalmente, la herramienta SMED y la ingeniería de métodos demostraron ser adecuadas para reducir los tiempos de configuración y en consecuencia, reducir los plazos de entrega. Económicamente, es notorio que con la reducción de los tiempos de preparación en una empresa del sector metalmeccánico permitiría reducir hasta un 22 % del tiempo y en costos en un cambio 6,1 h en promedio.

13 RECOMENDACIONES

13.1 A LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO

Es importante destacar que, para mantener un proceso de cambio de herramientas flexible y óptimo, se requiere de la mejora continua de herramientas como lo fue el SMED en la implementación de todas sus etapas. Se recomienda aplicar las 5 propuestas de mejoras que son encaminadas al operario y regulación del proceso: diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas, estandarizar las platinas, pintar las herramientas de apoyo, codificar las canecas de herramientas de apoyo y crear *Industrial Table Car* no sólo en las líneas de hachas y zapapicos sino también, en las otras líneas de producción donde sea necesarias.

Posteriormente, revisar periódicamente las operaciones internas y externas que componen del proceso actual evitando la inclusión de operaciones que no agreguen valor como lo son: el transporte, búsqueda de objetos de apoyo, ajustes, mantenimientos, esperas, tiempos improductivos, entre otros; en caso tal, seguir racionalizando las propuestas de mejoras tanto para las operaciones internas y externas. Sin olvidar que, se podría revisar también los trabajos ergonómicos y los índices de productividad.

Como la importancia del proyecto, ha radicado en el manejo de los herramientas puesto que demanda una labor meticulosa donde no hay opción para la improvisación, se recomienda la articulación y comunicación constante con el área de procesos de calidad para validar periódicamente las tecnologías blandas y duras del proceso.

Hay que mencionar además que, la empresa enfrenta grandes retos para reducir el tiempo del cambio de herramienta en otras líneas, por ende, se recomienda de igual forma no prescindir de procesos investigativos para unir esfuerzos a lo largo de los métodos, puesto que facilita la competitividad, producción, uso óptimo de los tiempos y el uso racional de los costos de la empresa sin olvidar de los componentes teóricos.

Se recomienda la apropiación e implementación de conceptos relacionados con la mejora continua e innovación que permitan potencializar la organización y estandarización como el

Poka-yoke y 5S. Además, se sugiere entrenar al personal operativo sobre estas técnicas para que desde el puesto de trabajo se pongan en marcha las alternativas de mejoras que surjan.

Finalmente, dentro del proceso de cambio de herramientas, se sugiere revisar detalladamente las herramientas manuales de apoyo y los planos de los herramientas para conocer su buen funcionamiento y evitar la generación retrasos y reprocesos innecesarios.

13.2 A LAS EMPRESAS DEL SECTOR METALMECÁNICO

Se recomienda la implementación de metodologías que articulen la herramienta SMED, el estudio de métodos que incluye el estudio de movimientos, tiempos y ergonomía para encontrar alternativas de mejoras dentro de las diferentes actividades económicas.

A las empresas que cuentan con un proceso de cambio de herramientas o conocidos también como troqueles, se recomienda aplicar las 5 propuestas de mejoras que fueron planteadas en esta investigación: diseñar plantillas para el desgaste de los herramientas, estandarizar las platinas, pintar las herramientas de apoyo, codificar las canecas de herramientas de apoyo y crear *Industrial Table Car*.

Además, de la formulación e inversión de proyectos que permiten el acercamiento del sector industrial y la académica; al igual, brindar el acceso a prácticas en las plantas de producción para que la gestión del conocimiento y vigilancia tecnológica estén al alcance de todos los que estén interesados en tener una mirada diferente frente al futuro.

13.3 A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES

Se sugiere a la comunidad académica y profesional, la inversión de proyectos encaminados a la articulación con el sector industrial en la región de Caldas y se sugieren foros para conocer necesidades y brechas del sector industrial; como también, fomentar convenios para el desarrollo y la transformación industrial y cultural de las personas y el beneficio empresarial generando alternativas de solución a los problemas en el contexto local y regional a través de procesos integrados de formación, investigación y de desarrollo.

Se recomienda a los futuros investigadores implementar técnicas de detección para diferenciar la unidad de análisis en la revisión de antecedentes, puesto que la implementación óptima del SMED podría variar en términos de costos y ahorro de tiempo. De igual manera, se recomienda la articulación de los criterios de Lean Manufacturing y la Ingeniería de Métodos para facilitar en el proceso y aumento de eficiencia en el rendimiento.

14 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, R. y Soberi, M.S.F. (2018). Changeover process improvement based on modified SMED method and other process improvement tools application: an improvement project of 5-axis CNC machine operation in advanced composite manufacturing industry. doi: 10.1007/s00170-017-0827-7
- Alcalá, A. (2011). *Situando el SMED como una herramienta de "Lean Manufacturing" para mejorar los tiempos de preparación, ajuste y cambios de herramientas*. (Tesis). Universidad de Sonora, México.
- Aldas, D. S., Portalanza, N., Tierra, L. P. y Barrionuevo, M. P. (2018). Análisis de los tiempos de preparación para la reducción de desperdicios en el proceso de troquelado. Caso aplicado industria de calzado. *INNOVA Research Journal*, 3(10), 149-160. Recuperado el 10 de febrero de 2019:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6777226>
- Aldás, D. S., Reyes, J. P., Collantes, S. M. y Vilema, W. I. (2017). Modelo de gestión en el proceso de montaje de las industrias de manufactura de calzado de cuero a través de la metodología de cambio rápido de herramientas (SMED). *Ojeando la Agenda*, 47. Recuperado el 13 de febrero de 2019 en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6007593>
- Aldas, D., Portalanza, N., y Casignia, B. (2018). Gestión de los tiempos de preparación en aparato con la metodología de cambio rápido de herramientas (SMED) en industrias de manufactura de calzado de cuero. *Ojeando la Agenda*, 53. Recuperado el 11 de febrero de 2019 en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6501349>
- Ali, M., Aladeemy, M., Abdelhadi, A. y Mumani, A. (2013). A proposed approach for

setup time reduction through integrating conventional SMED method with multiple criteria decision-making techniques. *Computers & Industrial Engineering*, 66(2), 461-469. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.07.011>

Alvarez, L. S. y Alba, N. C. (2009). *Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica*. (Tesis pregrado). Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia.

Amrani, A. & Ducq, Y. (2020). Lean practices implementation in aerospace based on sector characteristics: methodology and case study. doi: 10.1080/09537287.2019.1706197

Amrina, U., Junaedi, D. y Prasetyo, E. (2018). Setup Reduction in Injection Moulding Machine Type JT220RAD by Applying Single Minutes Exchange of Die (SMED). doi: 10.1088/1757-899X/453/1/012033

Antosz, K. y Pacana, A. (2018). Comparative analysis of the implementation of the SMED method on selected production stands. doi: 10.17559/TV-20160411095705

Azizi, A. y Manoharan, P. (2015). Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Study. *Procedia Manufacturing*, 2, 153-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.027>

Balon, P. y Buchtová, J. (2015). Application of smed methodology in deep drawn stamping. METAL 2015. Conferencia llevado a cabo en el 24th International Conference on Metallurgy and Materials. Brno, Czech Republic, EU.

Barduzzi, J., Vieira, M., Baptista, E. A. & Correr, I. (2017). Perception of the Benefits of SMED Under the Point of View of Machining Services Providers. *Dirección y organización: Revista de dirección, organización y administración de empresas*, 62, 5-15. Recuperado el 10 de febrero de 2019 en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6211058>

- Bartz, T., Mairesse, J. C. y Garcia, M. (2012). Redução do tempo de setup como estratégia de aumento da capacidade produtiva: estudo de caso em sopradora de garrafas plásticas. *Exacta*, 10(1), 36-46. doi: 10.5585/Exacta.v10n1.3224
- Bartz, T., Mairesse, J. C. y Tafarel, E. (2012). Uso da Troca Rápida de Ferramentas – Trf – como Estratégia de Aumento de Produtividade em uma Rotuladora de Garrafas Plásticas. *TECNO-LÓGICA*, 16(2), 71-77. Recuperado el 1 de marzo de 2019 en: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/2942/2230>
- Basri, A. Q., Mohamed, N. M. Z. N., Yasir, K. A. S. H. M., Fazi1, H. M. & Fudzin, A. F. (2019). The validation of productivity on the changeover activity at the automotive stamping press line by comparing the embedded SMED frame-work versus SMED approach: A witness simulation case study. doi: 10.1088/1757-899X/469/1/012005
- Bidarra, T., Godina, R., Matias, J.C.O. y Azevedo, S.G. (2018). SMED methodology implementation in an automotive industry using a case study method. *International Journal of Industrial Engineering and Management* 9(1), 1-16 2. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Radu_Godina/publication/325546090_SMED_Methodology_Implementation_in_an_Automotive_Industry_Using_a_Case_Study_Method/links/5b152126a6fdcc4611e2a54c/SMED-Methodology-Implementation-in-an-Automotive-Industry-Using-a-Case-Study-Method.pdf
- Borges, R. Freitas, F. y Sousa, I. (2015). Application of Lean Manufacturing Tools in the Food and Beverage Industries. *Journal of Technology Management & Innovation*, 10(3), 120-130. Recuperado el 22 de marzo de 2019 en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84742420013>
- Borges, R., Souza, J., Beluco, A., Volcanoglo, L., Braz, J. L., Sporket, F.,..., Dornelles, F. A. (2019). Application of the single-minute exchange of die system to the CNC sector of a shoe mold Company. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1606376>

- Braglia, M., Frosolini, M., y Gallo, M. (2017). SMED enhanced with 5-Whys Analysis to improve set-upreduction programs: the SWAN approach. doi: 10.1007/s00170-016-9477-4
- Brito, M. y Gonçalves, M.A. (2020). ErgoSMED: A Methodology to Reduce Setup Times and Improve Ergonomic Conditions. *2nd International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications*, (1026), 549-554. Recuperado el 29 de junio de 2020 en:
https://www.researchgate.net/publication/335170379_ErgoSMED_A_Methodology_to_Reduce_Setup_Times_and_Improve_Ergonomic_Conditions
- Brito, M., Ramos, A. L., Carneiro, P. y Gonçalves, M. A. (2017). Combining SMED methodology and ergonomics for reduction of setup in a turning production área. *Procedia Manufacturing*, 13, 1112-1119. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.172>
- Calero, L., Maccasi, A. y Raymundo, C. (2020). Lean model of services for the improvement in the times of attention of the emergency areas of the health sector. doi: 10.1007 / 978-3-030-25629-6_144
- Cámara de Comercio de Manizales por Caldas. (2017). La producción bruta del sector metalmecánico en caldas supera los 690 mil millones de pesos. Recuperado el 20 de marzo de 2019 en: <http://ccmpc.org.co/noticias/682/La-produccion-bruta-del-sector-metalmecanico-en-Caldas-supera-los-690-mil-millones-de-pesos->
- Cámara de Comercio de Manizales por Caldas. (2019). ¿Por qué invertir en metalmecánica en Manizales? Recuperado el 18 de marzo de 2019 en:
<http://www.ccmpc.org.co/contenidos/222/%C2%BFPor-qu%C3%A9-Invertir-en-Metalmec%C3%A1nica-en-Manizales>
- Cámara de Comercio de Manizales por Caldas. (2019). Balance de la Competitividad en

- Caldas 2019. Recuperado el 5 de julio de 2020 en: <http://estudios.ccmpe.org.co/wp-content/uploads/2020/04/Informe-competitividad-IDC-2019.pdf>
- Carrizo, A. (2014). Single minute exchange of die and organizational innovation in seven small and medium-sized firms. doi: 10.1007/978-3-319-04951-9_23
- Carrizo, A. y Campos, G. (2011). Single Minute Exchange of Die: A Case Study Implementation. *Journal of Technology Management & Innovation*, 6(1), 129-146. Recuperado el 15 de febrero de 2019 en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3677604>
- Castañeda, R. (2011). El proceso de cambio en las organizaciones. Recuperado el 7 de octubre de 2018 en: <http://eprints.uanl.mx/2341/1/1080227417.pdf>
- Chiarini, A. (2014). Sustainable manufacturing-greening processes using specific Lean Production tools: an empirical observation from European motorcycle component manufacturers doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.080>
- Das, B., Venkatadri, U. y Pandey, P. (2014). Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. doi: 10.1007/s00170-013-5407-x
- De la Fuente, M., Manzanedo, A. y Hernández, E. (Julio de 2012). Operations Optimization using SMED Technique in a Can Manufacturer. *XVI Congreso de Ingeniería de Organización*. Conferencia llevado a cabo en Vigo, España.
- Desai y Rawani, A.M. (2017). Productivity improvement of shaping division of an automobile industry by using single minute exchange of die (SMED) methodology. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 12(8), 2615-2629. Recuperado de: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0417_5949.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2018). Encuesta Mensual

- Manufacturera diciembre de 2018. Recuperado el 14 de marzo de 2019 en:
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/mmm/bol_emm_dic18.pdf
- Dhake, R y Rajebhosale, D. (2013). Setup Time Reduction On Solder Paste Printing Machine – A Case Study. *International Journal of Lean Thinking*, 4(1), 89-97. Recuperado el 26 de febrero de 2019 en:
<https://doaj.org/article/a3b73ea0511146bca0aaecde56e0e800>
- Díaz, J. R., García, J. L., Martínez, V., Blanco, J., Jiménez, E. y Avelar, L. (2016). The Effect of SMED on Benefits Gained in Maquiladora Industry. doi:
10.3390/su8121237
- Díaz, J. R., García, J. L., Mendoza, J. R., Martínez, V., Jiménez, E. y Blanco, J. (2017). Interrelations among SMED Stages: A Causal Model. doi:
<https://doi.org/10.1155/2017/5912940>
- Dillon, A. P. y Shingo, S. (1985). A revolution in manufacturing: The SMED system. Recuperado el 5 de abril de 2019 en:
https://www.academia.edu/35100118/A_Revolution_in_Manufacturing_The_SME_D_System_-_by_Shigeo_Shingo_translated_by_Andrew_P._Dillon_
- Dogan, O., Cebeci, U. y Oksuz, M.K. (2018). An intelligent decision support system for SMED and its application in textile industry. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 933-942. Recuperado de:
https://pdfs.semanticscholar.org/aa6d/1b7675f88c089898cd29ec6a485f4ce9e826.pdf?_ga=2.203971728.1835840070.1568923474-952965919.1568923474
- Donizeti, R., Oliveira, A., Message, L. B. y Lopes, D. A. (2018). Creating value with less

impact: Lean, green and eco-efficiency in a metalworking industry towards a cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 196, 517-534. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.064>

Duque, M., Ovalle, A. y Ocampo, O. (2018). *Determinar alternativas tecnológicas para el proceso de recolección de limón Tahití*. (Tesis maestría). Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia.

Ekincioglu, C. y Boran, S. (2018). SMED methodology based on fuzzy Taguchi method. doi: 10.1108/JEIM-01-2017-0019

Epsilon. (2011). Diagnóstico para corregir fallas de diseño, fabricación y reparación de herramientas para el estampado de piezas automotrices. Recuperado el 28 de enero de 2019 en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184108/11-18_DIAGN_STICO_PARA_CORREGIR_FALLAS_DE_DISE_O_FABRICACION_Y_REPARACION_DE_HERRAMENTALES_PARA_EL_ESTAMPADO_DE_PIEZAS_A_1.pdf

Espin, F. (2013). Técnica SMED. Reducción del tiempo preparación. *3c Tecnología*, 2(2). Recuperado el 8 de febrero de 2019 en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817582>

Fernández, J. A. (2014). *Mejora de las operaciones de preparación de máquinas conformadoras de paneles, en una empresa metalmecánica, mediante el sistema SMED*. (Tesis pregrado). Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Filla, J. (2016). The Single Minute Exchange of Die Methodology in a High-Mix Processing

Line. *Journal of Competitiveness*, 8(2), 59-69. doi: 10.7441/joc.2016.02.05

Gento, Á., Atienza, J. y Pascual, J. (Septiembre de 2009). Estudio de Reducción de

Tiempos de Fabricación en el Sector del Automóvil. *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Simposio llevado a cabo en el XIII Congreso de Ingeniería de Organización, Terrassa, España.

Gholam, A., Alzahrani, M. y Bajkhaif, B. (Septiembre de 2018). Changeover optimization on cupcake production line at Gandour factory. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Conferencia llevado a cabo en el 3rd North American IEOM Conference. Jeddah, Saudi Arabia.

Gil, M. A., Sanz, P., Benito, J. J. y Galindo, J. (2012). Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED. *Técnica industrial*. Recuperado el 11 de marzo de 2019 en: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-4277-definicion-metodologia-aplicacion-practica-smed.aspx>

Gob.mx. (2014). Estudio de prospectiva tecnológica para la manufactura de troqueles y su aplicación en el contexto nacional, parte 1. Recuperado el 20 de enero de 2019 en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184120/12-189_Estudio_de_prospectiva_tecnol_gica_para_la_manufactura_de_troqueles_y_su_aplicaci_n_en_el_contexto_nacional._Parte1.pdf

Gob.mx. (2014). Estudio de prospectiva tecnológica para la manufactura de troqueles y su aplicación en el contexto nacional, parte 2. Recuperado el 20 de enero de 2019 en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184121/12-189_Estudio_de_prospectiva_tecnol_gica_para_la_manufactura_de_troqueles_y_su_aplicaci_n_en_el_contexto_nacional._Parte2.pdf

Gob.mx. (2014). Estudio de prospectiva tecnológica para la manufactura de troqueles y su aplicación en el contexto nacional, parte 3. Recuperado el 20 de enero de 2019 en:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/184122/12-189_Estudio_de_prospectiva_tecnol_gica_para_la_manufactura_de_troqueles_y_su_aplicaci_n_en_el_contexto_nacional._Parte3.pdf

González, M y Santana, S. (2013). Reingeniería de procesos y servicios en biblioteca de la Facultad de Ciencias Médicas “Gral. Calixto García Íñiguez”. *Revista cubana de Información en ciencias de la salud*. 24(3), 330-342. Recuperado el 30 de septiembre

de 2018 en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2307-21132013000300009

Guarín, A. G. (2014). Factores operativos y administrativos que se deben tener en cuenta para la implementación de un sistema Lean Manufacturing, bajo pensamiento lateral Caso de éxito en la empresa Baldosines Torino S.A. miembro de Grupo Alfagres S.A. *Revista de Tecnología*, 13(3), 1692-1399. Recuperado el 15 de diciembre de 2018 en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041510>

Guzmán, P. y Salonitis, K. (2013). Improving Changeover Time: A Tailored SMED Approach for Welding Cells. *Procedia CIRP*, 7, 598-603.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.039>

Guzel, D. y Asiabi, AS. (2020). Improvement setup time by using SMED and 5S (An application in SME). *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 9(1), 3727-3732. Recuperado el 28 de junio de 2020 en: <http://www.ijstr.org/final-print/jan2020/Improvement-Setup-Time-By-Using-Smed-And-5s-an-Application-In-Sme.pdf>

Hendri, H. (2015). PENURUNAN WAKTU SET-UP UNTUK PENINGKATAN

EFEKTIFITAS PADA PT. X *Jurnal Ilmiah SINERGI*, 19(2), 91-100. Recuperado el 8 de diciembre de 2018 en:

<http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/sinergi/article/view/147/125>

Herculano, A., Gomes, J. y Barreto, M. (2012). Redução do tempo de setup na produção de botas de PVC através da técnica trf. *Capa*, 12(1). doi: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v12i1.770>

Indrawati, S., Pratiwi, M.E., Sunaryo y Azzam, A. (2018). The effectiveness of single minute exchange of dies for lean changeover process in printing industry. doi: 10.1051/mateconf/201815401064

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2015). *Norma Técnica Colombiana ISO 9001: Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos*. Bogotá, Colombia.

Jebaraj, S., Murugaiyah, U., Srikamaladevi, M. (2013). The use of SMED to eliminate small stops in a manufacturing firm. doi: 10.1108/17410381311328016

Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*: Ginebra, Suiza: Oficina Internacional del Trabajo.

Karam, A. A., Liviu, M., Cristina, V. y Radu, H. (Octubre de 2018). The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A smed proyect. Simposio llevado en cabo en el 11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, Tirgu-Mures, Romania.

Karasu, M.K. y Salum, L. (2018). FIS-SMED: a fuzzy inference system application for plastic injection mold changeover. doi: 10.1007/s00170-017-0799-7

Khusaini, N.S, Jaffar, A y Yusoff, N. (2014). A Survey on Lean Manufacturing Tools

Implementation in Malaysian Food and Beverages Industry using Rasch Model. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.845.642

Kochańska J. y Burduk A. (2019). Rationalization of Retooling Process with Use of SMED and Simulation Tools. Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 39th International Conference on Information Systems Architecture and Technology, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-99993-7_27

Kurniawan, R., Nurlaila, Q. y Armila, A. (2018). Comparative Study of Conventional and Quick Die Change Stamping Process: The Issue of Setup Time and Storage. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, 3(4), 216-223. doi: <https://doi.org/10.26776/ijemm.03.04.2018.06>

Lipiak, J. (2017). Methodology for Assessing the Factors Affecting the Quality and Efficiency of Flexographic Printing Process. *Procedia Engineering*, 182, 403-411. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.122>

Logesh, B. y Balaji, M. (2020). Experimental Investigations to Deploy Green Manufacturing through Reduction of Waste Using Lean Tools in Electrical Components Manufacturing Company. doi: 10.1007/s40684-020-00216-4

López, J., Alarcón, E. y Rocha, M. (2014). *Estudio del trabajo. Una nueva visión*. Recuperado el 7 de febrero de 2019 en: <http://www.editorialpatria.com.mx/pdf/files/9786074384383.pdf>

Lozano, J., Saenz, J. C., Martínez, E., Jiménez, E. y Blanco, J. (2017). Integration of the SMED for the improvement of the supply chain management of spare parts in the food sector. doi: <https://doi.org/10.17221/69/2016-AGRICECON>

Lozano, J., Saenz, J.C., Martínez, E., Jiménez, E. y Blanco, J. (2017). Methodology to

improve machine changeover performance on food industry based on SMED. doi: 10.1007/s00170-016-9686-x

Macas, M. (2011). *El estudio de métodos de trabajo en la empresa manufacturera*. (Tesis pregrado). Universidad Católica De Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Mallampati, M., Srivivivas, K. y Tirumala Krishna, M. (2018). Design process to reduce production cycle time in product development. doi: 10.11591/ijai.v7.i3.pp125-129

Mancilla-Escobar, J., Maccasi-Jaurequi, I., Raymundo-Ibañez, C. y Perez, M. (2020).

Layout Lean model of production management based on change management to improve efficiency in the production of packaging in auto parts sector SMEs. doi: 10.1088/1757-899X/796/1/012014

Martins, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F., Matias, J. (2018). A Practical Study of the Application of SMED to Electron-beam Machining in Automotive Industry. Conferencia llevada a cabo en el 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018), Columbus, OH, USA.

Mencias, S. D. y Buitrón, P. E. (2019). *Propuesta de mejora de la productividad en la línea de habas confitadas de la empresa Super snacks Silvanita a través de la estandarización de tiempos de operación* (Tesis maestría). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Ministerio de Comercio, industria y turismo - MINCIT. (2018). La industria Manufacturera a diciembre de 2018. Recuperado el 13 de marzo de 2019 en: <http://www.mincit.gov.co/CMSPages/GetFile.aspx?guid=55b0e49e-0261-4b86-a33a-dd9db5545cef>

Ministerio de Comercio, industria y turismo - MINCIT. (2019). La industria Manufacturera

a diciembre de 2019. Recuperado el 13 de marzo de 2020 en:
<https://www.mincit.gov.co/getattachment/estudios-economicos/estadisticas-e-informes/informes-de-industria/2019/diciembre/oee-ia-industria-manufacturera-diciembre-2019.pdf.aspx>

Moreno, C. y Reig, M. J. (2018). *Diseño y estudio técnico de un troquel progresivo para la fabricación de hebillas de cinturones de seguridad de automóvil* (Tesis pregrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Moreno, R y Parra, S. (2017). Metodología para la reingeniería de procesos. Validación en la empresa Cereales “Santiago”. *Ingeniería industrial. Ingeniería Industrial (Vol. XXXVIII)*, 130-142. Recuperado el 6 de octubre de 2018 en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360452099002>

Mulyana, A y Hasibuan, S. (2017). IMPLEMENTASI SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIES (SMED) UNTUK OPTIMASI WAKTU CHANGEOVER MODEL PADA PRODUKSI PANEL TELEKOMUNIKASI. *Jurnal Ilmiah SINERGI*, 21(2):107-114. Doi: doi.org/10.22441/sinergi.2017.2.005

Oliveira, J., Sá, J. C. y Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through "Lean Tools": An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082-1089. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>

Orozco, W. A. (2016). *Aplicación de la metodología manufactura esbelta para el mejoramiento de los procesos operativos de un taller eléctrico industria*. (Tesis maestría). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Ospina, R. (2016). La reingeniería de procesos: una herramienta gerencial para la innovación

- y mejora de la calidad en las organizaciones. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 2(2), 91-99. Recuperado el 21 de enero de 2019 en:
<https://www.redalyc.org/pdf/4096/409634344006.pdf>
- Ovalle, A. y Cárdenas, D. (2016). ¿Qué ha pasado con la aplicación del estudio de tiempos y movimientos en las últimas dos décadas?: revisión de la literatura. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 12-31. Recuperado el 14 de febrero de 2019 en:
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5443/4513
- Ovalle, A., Ocampo, O. y Acevedo, M. (2013). Technological gaps in industrial automation in metal mechanical enterprises in Caldas, Colombia. *Ingeniería y Competitividad*, 15(1), 171-182. Recuperado el 1 de febrero de 2019 en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v15n1/v15n1a16.pdf>
- Parisotto, C. y Pacheco, D. (2016). Método SMED: Análise e aperfeiçoamento. *Dirección y Organización: Revista de dirección, organización y administración de empresas*, 60, 4-23. Recuperado el 8 de febrero de 2019 en:
<https://www.revistadyo.es/index.php/dyo/article/view/495/517>
- Pérez, A., Gisbert S. y Pérez, E. (2017). Reingeniería de procesos. *3C Empresa: investigación y pensamiento crítico, Edición Especial*, 81-91. doi:
<http://dx.doi.org/10.17993/3cemp.2017.especial.81-91/>
- Pérez, I. G., Marmolejo, N., Mejía, A. M., Caro, M. y Rojas, J. A. (2016). Mejoramiento mediante herramientas de la manufactura esbelta en una Empresa de Confecciones. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 24-35. Recuperado el 21 de febrero de 2019 en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360443665003>
- Pérez, P. N. y Suárez, O. E. (2010). Aplicación para el diagnóstico y control de sistemas

- productivos. *Ciencia en su PC*, 2, 88-100. Recuperado el 5 de marzo de 2019 en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181317869008>
- Prasetyo, Y.T. y Veroya, F.C. (2020). An Application of Overall Equipment Effectiveness (OEE) for Minimizing the Bottleneck Process in Semiconductor Industry. doi: 10.1109 / ICIEA49774.2020.9101925
- Pratama, A.T., Saraswati, T., Prianggara, F. y Savitri, T. (2020). Improving Productivity and Quality of Medium Voltage Cable Production. doi: 10.1088/1757-899X/847/1/012005
- Procolombia. (2018). Colombia es referente latinoamericano en materiales para la construcción. Recuperado el 15 de febrero de 2019 en: <http://www.procolombia.co/noticias/colombia-es-referente-latinoamericano-en-materiales-para-la-construccion>
- Rafoso, S. y Artiles, S. (2011). Reingeniería de procesos: conceptos, enfoques y nuevas aplicaciones. *Ciencias de la Información*, 42(3), 29-37. Recuperado el 10 de octubre de 2018 en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181422295004>
- Reis, M. E. P. y Murta, J. (2010). Um método para o cálculo do benefício econômico e definição da estratégia em trabalhos de redução do tempo de setup. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2010000300011>
- Rodríguez, R., Sánchez, D., Martínez, J. L. y Arvizu, E. (2015). A case study: SMED & JIT methodologies to develop continuous flow of stamped parts into AC disconnect assembly line in Schneider Electric Tlaxcala Plant. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.282>
- Roriz, C., Nunes, E. y Sousa S. (2017). Application of Lean Production Principles and

- Tools for Quality Improvement of Production Processes in a Carton Company. *Procedia Manufacturing*, 11, 1069-1076. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.218>
- Rosa, C., Silva, F. J. G., Pinto, L. y Campilho, R. (Junio de 2017). SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry. Conferencia llevado a cabo en Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, Vigo, Pontevedra, España.
- Sabadka, D., Molnar, V. y Fedorko, G. (2017). The use of lean manufacturing techniques – SMED analysis to optimization of the production process. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11(3), 187–195. doi: 10.12913/22998624/76067
- Salazar, K., Arroyave, A., Ovalle, A. M., Ocampo, O. L., Ramírez, C. A. y Oliveros, C. E. (2016). Tiempos en la recolección manual tradicional de café. *Ingeniería industrial. Ingeniería Industrial (XXXVII)*, (2), 114-126. Recuperado el 22 de octubre de 2018 en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360446197002>
- Simões, A. y Tenera, A. (2010). Improving setup time in a Press Line – Application of the SMED methodology. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(17), 297-302. doi:
<https://doi.org/10.3182/20100908-3-PT-3007.00065>
- Singh, J., Singh, H. y Singh, I. (2018), SMED for quick changeover in manufacturing industry – a case study. *Benchmarking: An International Journal*. doi:
<https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2017-0122>
- Sira, S. (2011). Aplicación tecnológica del Diagrama Hombre-Maquinas. *Revista Ingeniería UC*, 18(3), 17 – 28. Recuperado el 21 de marzo de 2019 en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70723269003>
- Skotnicka, B., Wolniak, R y Gębalska, A. (2018). Improving the efficiency of the

- production process using SMED. *MATEC Web of Conferences*.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201818301002>
- Sousa, E., Silva, F.J.G., Ferreira, L.P., Pereira, M.T., Gouveia, R., y Silva, R.P. (2018).
Applying SMED methodology in cork stoppers production. *28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. Columbus, OH, USA
- Sri, I., Mentari, P. y Azzam, S. (2018). The effectiveness of single minute exchange of dies for lean changeover process in printing industry. *MATEC Web of Conferences*, 154:01064. doi: 10.1051/matecconf/201815401064
- Sriyanto, S., Nurkertamanda, D. y Ismail, A. N. (2012). PENERAPAN METODE RETADUNTUK MENGURANGI WAKTU SET UP PADA MESIN MILLING P1 DAN P2 DEPARTEMEN MACHINING PT. KUBOTA INDONESIA. *Jurnal Teknik Industri*, 1(1), 51-59 doi: 10.12777/jati.1.1.51-59
- Stadnicka, D. (2015). SETUP ANALYSIS: COMBINING SMED WITH OTHER TOOLS. *Management and Production Engineering Review*, 6(1), 36–50. doi: 10.1515/mper-2015-0006
- Sundar, R., Balaji, A.N. y Satheesh, R.M. (2014). A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
doi: 10.1515/mper-2015-0006
- Tapia, J., Escobedo, T., Barrón, E., Martínez, G. y Estebané, V. (2017). Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria. *Cienc Trab*, 19(60), 171-178. Recuperado el 15 de abril de 2019 en:
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/cyt/v19n60/0718-2449-cyt-19-60-00171.pdf>
- Terán, A., Rodríguez, C. y Bucci, N. (2011). La innovación abierta como elemento de

análisis en las pequeñas y Medianas industrias. Caso sector metalmecánico. *Revista de Administração e Inovação*, 8(2), 5-28. doi: 10.5773/rai.v8i2.595

Vijaya, S., Mani, V. G. S. y Devraj, N. (2014). Production Planning and Process

Improvement in an Impeller Manufacturing Using Scheduling and OEE Techniques. *Procedia Materials Science*, 5, 1710-1715. doi:

<https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.360>

15 ANEXOS

Anexo 1. Formato del cursograma analítico

| Cursograma analítico | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|---|----------|-----------|---------------|-----------|----------|---|---|---------------|
| Diagrama No. | | Hoja Num. 1 de 1 | | | Resumen | | | | | |
| Objeto: | | Actividad | | | Actual | Propuesta | Economía | | | |
| | | Operación ○ | | | | | | | | |
| Actividad: | | Transporte ⇒ | | | | | | | | |
| | | Inspección D | | | | | | | | |
| Método: Actual | | Almacenamiento ▽ | | | | | | | | |
| | | Distancia (m) | | | | | | | | |
| Lugar: | | Tiempo (hora-hombre) | | | | | | | | |
| Operario (s): | | Costos: | | | | | | | | |
| Compuesto por: | | Mano de obra | | | | | | | | |
| Aprobado por: | | Materiales | | | | | | | | |
| Fecha: | | Totales | | | | | | | | |
| Fecha: | | Simbolo | | | | | | | | |
| Descripción | Operarios | Tipo de proceso | Cantidad | Distancia | Tiempo (min.) | ○ | ⇒ | D | ▽ | Observaciones |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | | | |

Anexo 2. Consolidado de tiempos por propuestas

| Cambios | Interna | Externa | Actividades | Operaciones | Distancia (m) | Tiempo (min) | Propuestas |
|----------|---------|---------|--|----------------|---------------|--------------|---------------|
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura de los herramentales | Montaje | | 0,11 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Atornillar los herramentales | Montaje | | 0,46 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Comprobar el montaje del herramental | Montaje | | 0,53 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Desatornillar los herramentales | Desmontaje | | 3,05 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Comprobar la posición del herramental | Montaje | | 0,8 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura de los herramentales | Montaje | | 0,74 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura de los herramentales | Montaje | | 1,77 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura de los herramentales | Montaje | | 1,4 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura de los herramentales | Montaje | | 1,05 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Medir herramentales | Desmontaje | | 2,03 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Medir herramentales | Montaje | | 0,87 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura de máquina | Puesta a punto | | 1,01 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura herramentales | Puesta a punto | | 1,6 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Pulir herramentales | Puesta a punto | | 3 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Medir altura de herramentales | Desmontaje | | 1,11 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura | Desmontaje | | 9,46 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura | Montaje | | 3 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 1 | | x | Cuadrar altura | Puesta a punto | | 3 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 2 | | x | Cuadrar altura | Montaje | | 2 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 2 | | x | Cuadrar altura de máquina | Montaje | | 1,14 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 2 | | x | Cuadrar altura de máquina | Montaje | | 1,14 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 2 | | x | Cuadrar altura de máquina | Montaje | | 2,77 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 2 | | x | Cuadrar altura de máquina | Montaje | | 0,83 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Realizar mantenimiento | Montaje | | 56 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Cuadrar altura | Montaje | | 20 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Realizar mantenimiento | Montaje | | 38,22 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Cuadrar altura | Puesta a punto | | 35 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Pulir herramentales | Puesta a punto | | 7,97 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Cuadrar altura | Puesta a punto | | 1,5 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Cuadrar alineación | Puesta a punto | | 9 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Soldar herramental | Puesta a punto | | 9,7 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Cuadrar altura | Montaje | | 1 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 3 | | x | Cuadrar altura | Puesta a punto | | 14 | PLANTILLAS #1 |

| | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Cambio 3 | | x | Medir pieza | Puesta a punto | | 5 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 4 | | x | Medir herramientas | Desmontaje | | 4,76 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 4 | | x | Cuadrar altura de máquina | Montaje | | 3 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 4 | | x | Pulir heramentales | Puesta a punto | | 2 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 4 | | x | Cuadrar altura de punzón | Puesta a punto | | 9 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 4 | | x | Pulir heramentales | Desmontaje | | 5 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 4 | | x | Pulir heramentales | Montaje | | 2 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Medir dado | Montaje | | 2 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Pulir dado inferior | Puesta a punto | | 7,41 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Medir hacha | Puesta a punto | | 4 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Medir hacha | Puesta a punto | | 3,28 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Medir hacha | Puesta a punto | | 6,55 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Medir hacha | Puesta a punto | | 0,31 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Medir pieza | Puesta a punto | | 4,02 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 5 | | x | Cuadrar altura de herramientas | Puesta a punto | | 50 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 6 | | x | Cuadrar altura | Montaje | | 10 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 6 | | x | Pulir H | Puesto a punto | | 11,93 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 6 | | x | Pulir H | Puesto a punto | | 3 | PLANTILLAS #1 |
| Cambio 6 | | x | Pulir H | Puesto a punto | | 13,24 | PLANTILLAS #1 |
| Cambios | Interna | Externa | Actividades | Operaciones | Distancia (m) | Tiempo (min) | Propuestas |
| Cambio 1 | | x | Revisar herramental a colocar | Montaje | | 0,91 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Verificar la posición del herramental | Montaje | | 0,41 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura de los herramientas | Montaje | | 0,74 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Verificar altura de herramental | Montaje | | 1,67 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Verificar altura de herramental | Puesta a punto | | 4,47 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura | Montaje | | 2 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura | Puesta a punto | | 1 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura | Puesta a punto | | 1,74 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura | Puesta a punto | | 0,33 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura | Puesta a punto | | 0,16 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura | Puesta a punto | | 0,57 | PLATINAS #2 |
| Cambio 1 | | x | Revisar altura en máquina | Puesta a punto | | 0,82 | PLATINAS #2 |
| Cambio 2 | | x | Revisar altura | Montaje | | 1,02 | PLATINAS #2 |
| Cambio 2 | | x | Revisar altura | Montaje | | 0,78 | PLATINAS #2 |
| Cambio 2 | | x | Revisar pieza | Puesta a punto | | 1,41 | PLATINAS #2 |
| Cambio 2 | | x | Revisar pieza | Puesta a punto | | 5 | PLATINAS #2 |
| Cambio 3 | | x | Revisar la altura de la máquina | Desmontaje | | 1 | PLATINAS #2 |
| Cambio 3 | | x | Revisar altura de máquina | Puesta a punto | | 0,55 | PLATINAS #2 |
| Cambio 4 | | x | Revisar altura de máquina | Montaje | | 1 | PLATINAS #2 |
| Cambio 4 | | x | Revisar pieza | Puesta a punto | | 9,07 | PLATINAS #2 |

| | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|--|--------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| Cambio 4 | | x | Revisar altura de máquina | Desmontaje | | 3 | PLATINAS #2 |
| Cambio 5 | | x | Poner platina | Montaje | | 4,9 | PLATINAS #2 |
| Cambio 5 | | x | Poner platina | Montaje | | 1 | PLATINAS #2 |
| Cambio 5 | | x | Verificar la altura de herramientales | Montaje | | 1,5 | PLATINAS #2 |
| Cambio 6 | | x | Subir máquina | Desmontaje | | 0,5 | PLATINAS #2 |
| Cambio 6 | | x | Subir y bajar la máquina | Montaje | | 3 | PLATINAS #2 |
| Cambio 6 | | x | Subir y bajar la máquina | Puesto a punto | | 0,7 | PLATINAS #2 |
| Cambio 6 | | x | Poner platina | Montaje | | 1,44 | PLATINAS #2 |
| Cambios | Interna | Externa | Actividades | Operaciones | Distancia (m) | Tiempo (min) | Propuestas |
| Cambio 1 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | 201 | 1,87 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 1 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | 201 | 2 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 1 | | x | Comunicar cambios | Desmontaje | | 0,8 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 1 | | x | Ausencia en máquina | Montaje | | 0,44 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 1 | | x | Ausencia en máquina | Puesta a punto | | 0,58 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 1 | | x | Espera | Puesta a punto | | 1 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 1 | | x | Buscar herramientas | Puesta a punto | 201 | 1,23 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 1 | | x | Buscar herramientas | Puesta a punto | 402 | 2,02 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 2 | | x | Comunicar cambios | Desmontaje | | 0,22 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 2 | | x | Espera | Montaje | | 1,17 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 2 | | x | Buscar tornillo | Montaje | 67 | 0,25 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 2 | | x | Ensayar tornillos | Montaje | | 1,84 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 2 | | x | Buscar herramientas | Montaje | | 1,25 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 2 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 1 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 1 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 4 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Montaje | | 4 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Montaje | | 3,22 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Montaje | | 3,56 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 5 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Montaje | | 13 | HERRAMIENTAS #3 |

| | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Cambio 3 | | x | Buscar herramientas | Puesta a punto | | 5 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 2,36 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 2,27 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Montaje | | 6 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Montaje | | 3 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Puesta a punto | | 1 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Puesta a punto | | 2 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Calendamiento | | 10 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Buscar herramientas | Desmontaje | | 9,21 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 4 | | x | Ausencia en máquina | Puesta a punto | | 0,7 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 5 | | x | Buscar platina en almacén | Montaje | 1206 | 0,8 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 6 | | x | Ausencia en máquina | Desmontaje | | 1,5 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 6 | | x | Buscar herramientas | Puesto a punto | | 2 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambio 6 | | x | Ausencia en máquina | Puesto a punto | | 0,5 | HERRAMIENTAS #3 |
| Cambios | Interna | Externa | Actividades | Operaciones | Distancia (m) | Tiempo (min) | Propuestas |
| Cambio 1 | | x | Organizar tornillos | Desmontaje | | 1,13 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 1 | | x | Organizar tornillos | Desmontaje | | 0,73 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 1 | | x | Organizar tornillos | Desmontaje | | 0,18 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 1 | | x | Organizar mesa de trabajo | Montaje | | 0,55 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 1 | | x | Organizar tornillos | Puesta a punto | | 2,91 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 2 | | x | Organizar tornillos | Desmontaje | | 0,4 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 2 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 0,78 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 2 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 1,65 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 2 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 0,55 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 2 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 0,67 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 2 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 1,12 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 2 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 1,89 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 3 | | x | Organizar máquina y puesto de trabajo | Montaje | | 4 | CANASTAS # 4 |

| | | | | | | | |
|----------------|----------------|----------------|---|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Cambio 5 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 0,7 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 5 | | x | Buscar tornillos | Montaje | | 1,68 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 5 | | x | Buscar tornillos | Montaje | | 0,69 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 5 | | x | Buscar tornillos | Montaje | | 1,14 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 5 | | x | Organizar ensamble | Montaje | | 1,95 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 5 | | x | Organizar tornillos | Montaje | | 1,82 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 5 | | x | Buscar tornillos | Montaje | | 1 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 6 | | x | Buscar tornillos | Montaje | | 0,5 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 6 | | x | Buscar tornillos | Puesto a punto | | 2,01 | CANASTAS # 4 |
| Cambio 6 | | x | Buscar tornillos | Puesto a punto | | 5,25 | CANASTAS # 4 |
| Cambios | Interna | Externa | Actividades | Operaciones | Distancia (m) | Tiempo (min) | Propuestas |
| Cambio 1 | | x | Transporte del herramental a la mesa | Montaje | 67 | 0,18 | MESA #5 |
| Cambio 1 | | x | Transporte del herramental a la mesa | Montaje | 67 | 0,13 | MESA #5 |
| Cambio 1 | | x | Calentar herramientas | Calentamiento | | 20,26 | MESA #5 |
| Cambio 1 | | x | Ir al almacén de troquelaría | Puesta a punto | 1206 | 0,81 | MESA #5 |
| Cambio 1 | | x | Ir máquina | Puesta a punto | 1206 | 0,81 | MESA #5 |
| Cambio 1 | | x | Hablar sobre los cambios | Puesta a punto | | 5,07 | MESA #5 |
| Cambio 1 | | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 0,86 | MESA #5 |
| Cambio 1 | | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 0,22 | MESA #5 |
| Cambio 2 | | x | Transporte del herramental a la máquina | Montaje | 67 | 0,11 | MESA #5 |
| Cambio 2 | | x | Transporte del herramental a la máquina | Montaje | 67 | 0,55 | MESA #5 |
| Cambio 2 | | x | Hablar sobre el proceso | Montaje | | 3,89 | MESA #5 |
| Cambio 2 | | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 1,11 | MESA #5 |
| Cambio 2 | | x | Calentar MP | Calentamiento | | 22,19 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Desatornillar los herramientas | Desmontaje | | 30,22 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Hablar sobre el proceso | Desmontaje | | 3 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Atornillar herramientas | Montaje | | 36,21 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Hablar sobre el proceso | Montaje | | 2 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Hablar sobre el proceso | Desmontaje | | 5 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Hablar sobre el proceso | Desmontaje | | 5 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Desatornillar los herramientas | Desmontaje | | 19,23 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Calentar herramientas | Calentamiento | | 25 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Calentar herramientas | Calentamiento | | 33,31 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 1,59 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 1 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | De la máquina al almacén de troquelaría | Puesta a punto | 1206 | 0,7 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Del almacén de troquelaría a la máquina | Puesta a punto | 1206 | 0,7 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | Ir a la máquina richter | Puesta a punto | 804 | 6 | MESA #5 |
| Cambio 3 | | x | De la máquina richter a la máquina wagner | Puesta a punto | 804 | 0,6 | MESA #5 |
| Cambio 4 | | x | Desatornillar herramientas | Desmontaje | | 19,27 | MESA #5 |

| | | | | | | |
|----------|---|--|----------------|------|------|---------|
| Cambio 4 | x | Hablar sobre el proceso | Desmontaje | | 1,94 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Atornillar herramientas | Montaje | | 33,3 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Ir al almacén de troquelería | Desmontaje | 1206 | 4,5 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Ir a la máquina | Desmontaje | 1206 | 2 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Hablar sobre el proceso | Desmontaje | | 8 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Ir al almacén de troquelería | Desmontaje | 1206 | 6 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Ir a la máquina | Montaje | 1206 | 2 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Ir al almacén de troquelería | Montaje | 1206 | 2 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Ir a la máquina | Montaje | 1206 | 2 | MESA #5 |
| Cambio 4 | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 6 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Transporte del herramental de la mesa a la máquina | Desmontaje | 67 | 0,04 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Transporte del herramental de la máquina a la mesa | Montaje | 67 | 0,04 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Transporte del herramental de la mesa a la rectificadora | Montaje | 1876 | 1 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Hacer ajuste a dado | Montaje | | 30 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Transporte del herramental a la máquina | Montaje | 1876 | 1 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Ir a la máquina | Montaje | 1206 | 0,8 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Hablar sobre el proceso | Montaje | | 4 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Hablar sobre el proceso | Montaje | | 4 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 4 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 2 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Hablar sobre el proceso | Puesta a punto | | 4 | MESA #5 |
| Cambio 5 | x | Hablar sobre el proceso | Desmontaje | | 0,5 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Ir al almacén | Desmontaje | 1206 | 4 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Desmontaje | | 2 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Recoger el paquete de herramientas | Desmontaje | 3082 | 7,1 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Llevar el nuevo herramental | Montaje | 3082 | 4 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Montaje | | 3 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Montaje | | 13 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 3 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Transporte de la máquina al almacén | Puesto a punto | 1206 | 0,7 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Transporte del almacén a la máquina. | Puesto a punto | 1206 | 0,38 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 3,31 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 6,91 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 12 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 5 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 2 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 1,45 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Transporte de la máquina al almacén | Puesto a punto | 1206 | 1 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Hablar sobre el proceso | Puesto a punto | | 2,4 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Transporte de la máquina al almacén | Puesto a punto | 1206 | 0,5 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Del almacén a la máquina | Montaje | 1206 | 0,4 | MESA #5 |
| Cambio 6 | x | Del almacén a la máquina | Montaje | 1206 | 0,4 | MESA #5 |