

UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO DE
HERRAMENTAL MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE
SMED EN UNA FÁBRICA AUTOMOTRIZ

T E S I S

PRESENTADA POR

KARLA DARINKA VALDEZ RAMÍREZ

Desarrollada para cumplir con uno de los
requerimientos parciales para obtener
el grado de Maestra en Ingeniería

DIRECTORA DE TESIS
DRA. MARÍA ELENA ANAYA PÉREZ

CODIRECTOR
M.C. GUILLERMO CUAMEA CRUZ

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

MARZO 2021

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Hermosillo, Sonora a 17 de marzo de 2021

KARLA DARINKA VALDEZ RAMIREZ

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería: Ingeniería en Sistemas y Tecnología.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO DE HERRAMENTAL MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE SMED EN UNA FÁBRICA AUTOMOTRIZ** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE

Dra. María Elena Anaya Pérez
Directora de tesis y Presidente del jurado

M.C. Guillermo Cuamea Cruz
Codirector y Vocal del Jurado

Dr. Jesús Horacio Pecheco Ramírez
Secretario del Jurado

M.A. Rene Rogelio Durand Villalobos
Vocal del Jurado

RESUMEN

Para poder sobrevivir en un mundo competitivo como el de hoy en día, las empresas deben encontrar formas de reducir los costos de producción, aumentar la productividad y garantizar la eficiencia en la ejecución de sus procesos operativos. En este contexto industrial, se ha vuelto imperativo implementar metodologías que mejoren la productividad diaria de las líneas de ensamblaje, y que, de la misma manera, contribuyan a la mayor eficiencia de las máquinas y sus operadores.

La Manufactura Esbelta es un conjunto de técnicas y herramientas, que tienen como objetivo eficientizar los procesos, mediante la eliminación de actividades que no agregan valor desde el punto de vista del cliente. Es utilizada como una estrategia de negocio, debido a que ayuda a las empresas a mejorar la calidad y el servicio, eliminar los desperdicios, reducir el tiempo de manufactura y entrega, y a aumentar la eficiencia en general de una organización.

En este trabajo, el objetivo principal es utilizar una de las herramientas de Manufactura Esbelta, la metodología SMED. El proyecto se centrará en la identificación de tiempos no productivos y desperdicios generados en una fábrica automotriz por el cambio de herramental, con el fin de eliminarlos o reducirlos en la medida de la posible, mediante la introducción de mejoras en el proceso, y de esta manera aprovechar al máximo los recursos de la empresa.

ABSTRACT

In order to survive in today's competitive world, companies must find ways to reduce production costs, increase productivity and ensure efficiency in the execution of their operational processes. In this industrial context, it has become imperative to implement methodologies that improve the daily productivity of the assembly lines, and that in the same way, contribute to the greater efficiency of the machines and their operators.

Lean Manufacturing is a set of techniques and tools which aim to make processes more efficient by eliminating activities that do not add value from the customer's point of view. It is used as a business strategy because it helps companies improve quality and service, eliminate waste, reduce manufacturing and delivery time, and increase the overall efficiency of an organization.

In this paper, the main objective is to apply one of the Lean Manufacturing tools, the SMED methodology. The project will focus on identifying non-productive times and waste generated in an automotive factory due to the change of tooling, in order to eliminate or reduce them, by introducing improvements in the process, therefore making the most of the company's resources.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional brindado siempre, en especial a mis padres, por haberme forjado como persona y por enseñarme a buscar siempre seguir mejorando y desarrollándome tanto en lo personal como en lo profesional. Todos y cada uno de mis logros se lo debo a esa formación.

Agradezco a René Durand, por siempre creer en mí y darme la oportunidad de trabajar con él. Le doy las gracias por todo lo que me enseñó, por siempre tener las puertas abiertas y la disposición de ayudarme y por impulsarme a cerrar este ciclo.

Un agradecimiento muy especial a mi directora de tesis, María Elena Anaya, por su enorme paciencia, dedicación y la disposición de ayudarme y compartirme sus conocimientos.

Al coordinador del programa Alonso Pérez, por guiarme a lo largo de todo el posgrado, compromiso hacia mi desarrollo académico y dedicación.

A todos los Profesores, Maestros y Doctores involucrados en el Posgrado de Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora.

Al departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora por los apoyos económicos que me brindaron a lo largo de la maestría.

Así mismo, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativa (PFCE) por las becas y los apoyos económicos otorgados para realizar mis estudios de posgrado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos	2
1.4 Hipótesis	2
1.5 Alcances y delimitaciones	2
1.6 Justificación	2
2. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1 Mejora Continua	3
2.2 Sistema de Producción Toyota (TPS)	5
2.3 Manufactura Esbelta (ME)	5
2.3.1 SMED	7
• Casos de aplicación de SMED	9
2.3.2 5´s	9
2.3.3 7 Desperdicios	10
2.3.4 Trabajo Estandarizado	11
2.3.5 Kanban	12
3. METODOLOGÍA	13

3.1 Estructura metodológica	13
3.1.1 Análisis Inicial.....	14
3.1.2 Formación de equipo de trabajo.....	15
3.1.3 Condición actual.....	15
3.1.4 SMED.....	16
3.1.5 Evaluación y Documentación	17
4. IMPLEMENTACIÓN	18
4.1 Análisis Inicial.....	18
4.2 Formación del equipo de trabajo.....	22
4.3 Diagnóstico de la condición actual	23
4.4 SMED.....	30
4.5 Evaluación y Documentación	39
5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	42
5.1 Conclusiones.....	42
5.2 Recomendaciones	42
5.3 Trabajos Futuros	43
6. REFERENCIAS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Etapas principales del sistema SMED y su impacto en los tiempos de cambio.....	8
Figura 4.1. Área de estudio (Elaboración propia).....	19
Figura 4.2. Cortadora 50.....	20
Figura 4.3. Guías para enderezado de alambre.....	20
Figura 4.4. OMCG.....	21
Figura 4.5. Matrices OMCG.....	21
Figura 4.6. Equipo de trabajo.....	22
Figura 4.7. Entrenamiento de equipo de trabajo.....	23
Figura 4.8. Tiempos de cambio de guías en Cortadora 50.....	25
Figura 4.9. Tiempos de cambio de matrices en OMCG.....	26
Figura 4.10. Búsqueda de guías.....	29
Figura 4.11. Ajuste de tope.....	29
Figura 4.12. Validación de actividades.....	34
Figura 4.13. Alambres ensamblados verificados por calidad.....	35
Figura 4.14. Prueba en molde.....	36
Figura 4.15. Guías nuevas.....	37
Figura 4.16. Identificaciones en guías.....	37
Figura 4.17. Lugar asignado para las guías.....	38
Figura 4.18. Topes mecánicos.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Tiempos de cambio de guías en cortadora 50.	24
Tabla 4.2. Tiempos de cambio de matrices en OMCG.	25
Tabla 4.3. Requerimiento semanal.	27
Tabla 4.4. Carga de trabajo Cortadora 50.	27
Tabla 4.5. Carga de trabajo OMCG.	28
Tabla 4.6. Cambio de matriz OMCG.....	30
Tabla 4.7. Cambio de guías cortadora 50.....	31
Tabla 4.8. Separación de actividades internas y externas OMCG.....	32
Tabla 4.9. Separación de actividades internas y externas cortadora 50.....	33
Tabla 4.10. Carga de trabajo OMCG después de la mejora.	40
Tabla 4.11. Tiempos de cambio de guías después de SMED.	40
Tabla 4.12. Carga de trabajo cortadora 50 después de SMED.....	41

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, las industrias enfrentan el desafío de identificar e implementar nuevas técnicas organizacionales y de producción, que les permita ser competitivas en un mercado global (Favela Herrera, et al., 2019).

Hoy en día , el mercado se caracteriza por ciclos de vida del producto más cortos y la creciente individualización de estos, lo cual aumenta la necesidad de las compañías de ser flexibles y de eficientizar los recursos, para ser capaces de satisfacer las demandas de los clientes y permanecer competitivos. Por esta razón, la Manufactura Esbelta (ME) se ha convertido en una alternativa para incrementar la productividad y desarrollar habilidades de manufactura (Buer, et al., 2020).

La Manufactura Esbelta es un conjunto de técnicas y herramientas que provienen del objetivo fundamental del Sistema de Producción Toyota (TPS), eficientizar los procesos, mediante la eliminación o disminución de desperdicios en toda la cadena de valor (Fallas-Valverde, et al., 2018). ME busca lograr una utilización balanceada de los recursos, para permitirle a las compañías entregar al cliente productos de calidad a tiempo con un menor costo, logrando así un mayor margen de utilidad (Singh & Kumar, 2019).

En este trabajo se empleará la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die), la cual es una de las herramientas de ME utilizada para la reducción de desperdicios en los procesos de producción, ya que ofrece una forma efectiva y rápida de reducir los tiempos de cambios de herramental, buscando obtener como beneficios potenciales, un aumento en la flexibilidad de los equipos, disminución de inventarios, reducción en los tiempos de entrega al cliente, entre otros.

1.2 Objetivo general

Reducir los tiempos de cambio de herramienta en las máquinas OMCG y cortadora 50, mediante la implementación de SMED como herramienta de reducción de tiempos, impactando positivamente en la flexibilidad, disponibilidad de la maquinaria y productividad.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar un análisis de la situación actual en el proceso de cambio de herramienta de cada una de las máquinas en estudio.
- Utilizar la metodología SMED para reducir los tiempos de cambio.
- Evaluar los resultados obtenidos

1.4 Hipótesis

Mediante la implementación de SMED, se reducirán los tiempos de preparación y cambios de herramienta en la cortadora 50 y OMCG, obteniendo mayor disponibilidad y flexibilidad en ambos equipos.

1.5 Alcances y delimitaciones

El proyecto se centrará en el área de insertos de la planta de Estructuras, específicamente en las máquinas OMCG y cortadora 50, debido a que son dos de las estaciones en donde se presentan más problemas referentes a los cambios de herramienta.

1.6 Justificación

Actualmente, las máquinas OMCG y Cortadora 50 se encuentran al límite de su capacidad por la alta demanda del cliente, por lo que existe la necesidad de reducir los tiempos de cambio de herramienta, con el fin de tener mayor disponibilidad para producción, buscando de esta forma, lograr reducir los tiempos muertos y mejorar el cumplimiento de los requerimientos.

2. MARCO DE REFERENCIA

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la implementación de la metodología SMED, con la finalidad de disminuir los tiempos de cambios de herramental en dos de las máquinas clave ubicadas en una de las áreas productivas de una empresa automotriz dedicada a la producción de asientos. En este sentido, es preciso aclarar algunos conceptos básicos.

2.1 Mejora Continua

Las prácticas de Mejora Continua (MC) son cada vez más comunes en todo tipo de industria, ya que conducen a un mayor rendimiento operativo y financiero, debido a la eliminación de la variabilidad innecesaria y la reducción de las actividades que no añaden valor (Sanchez-Ruiz & Blanco, 2019).

La Mejora Continua es vista como indispensable para aquellas compañías que desean alcanzar la excelencia operacional y el enfoque Kaizen es considerado su principal fuente. De acuerdo con Álvarez-García et al. (2018), Kaizen es un sinónimo de MC, ya que Kai significa “cambio” y Zen significa “bueno”, por lo que debe ser entendido como Mejora Continua e Innovación.

MC consiste en pequeños cambios que sumados puedan ocasionar una revolución, con el objetivo de lograr la mejor calidad en los productos al menor precio, tiempos de entrega menores, eliminación de desperdicios y el compromiso de la gente, razón por la cual, demanda soporte activo de todos los miembros, particularmente de aquellos que trabajan directamente en el proceso a diario (Costa, et al., 2019).

Kaizen se enfoca en la gente y la estandarización de los procesos productivos buscando mejorarlos, por lo que los dos pilares que lo sustentan son los equipos de trabajo y la Ingeniería Industrial. Su práctica requiere de un equipo multidisciplinario y su objetivo es incrementar la productividad, controlando los procesos de manufactura mediante la reducción de tiempos de ciclo, estandarización de criterios de calidad y de los métodos de trabajo por operación (Atehortua Tapias, 2015).

Según Suárez-Barraza (2011) algunos beneficios del Kaizen son:

- Fomenta un pensamiento orientado al proceso.
- Pone mayor énfasis en la etapa de planeación.
- Todos participan y contribuyen a la construcción de un nuevo sistema, por lo que mejora el autoestima y motivación del personal.
- Incrementa la productividad.
- Ayuda a reducir en los tiempos de cambio y preparación de la maquinaria.
- Reducción de inventarios de productos en proceso y terminados.
- Mejoramiento en el diseño y funcionamiento de los productos y servicios.
- Reducción de costos.

Un evento Kaizen es un proyecto enfocado en la mejora estructurada, en el que un equipo multidisciplinario se dedica a mejorar áreas de trabajo en específico y es caracterizado por varios rasgos, incluyendo baja inversión de capital, orientación hacia la acción y autonomía, además de la aplicación de herramientas para el establecimiento de la calidad y análisis de procesos. Este tipo de eventos, pueden generar mejoras tanto en la cultura de los trabajadores como en los sistemas de la empresa (Cavazos-Arroyo, et al., 2018).

De acuerdo con Atehortua Tapias (2015), los pasos para implementar un Kaizen son los siguientes:

1. Definir el problema
2. Entender la situación actual
3. Analizar las causas potenciales
4. Determinar el objetivo deseado
5. Implementación de solución
6. Medir los resultados de implementación
7. Estandarizar mejora
8. Establecer planes futuros

2.2 Sistema de Producción Toyota (TPS)

La Mejora Continua (MC) es la vía más efectiva de incrementar la productividad y mantener la competitividad de cualquier sistema de manufactura. Toyota, siendo una de las empresas manufactureras más grandes de la Industria Automotriz, se ha enfocado en la implementación de proyectos de Mejora Continua (o Kaizen) dentro de sus procesos de Manufactura e Ingeniería. La filosofía de MC es el elemento más crítico y representa el valor central del Sistema de Producción Toyota (TPS por sus siglas en inglés) y de la Manufactura Esbelta (Li, 2013).

El Sistema de Producción Toyota, es un avanzado método de diseño, control y gestión de la producción, concebido originalmente por Toyota Motor Corporation. La calidad mejorada, el valor agregado para el cliente, la eliminación de desperdicios y la mejora continua, son las principales características de TPS (Paladugu & Grau, 2020).

La evolución de los sistemas de producción se relaciona fuertemente con la historia de Toyota Motor Company (TMC), esto debido a que por medio del TPS se desarrollaron herramientas que utilizan la innovación y el conocimiento común, y que funcionaron bien en diferentes entornos (Teich y Faddoul, 2013).

2.3 Manufactura Esbelta (ME)

La Manufactura Esbelta es una filosofía de fabricación que incorpora un conjunto de principios, herramientas y técnicas en los procesos empresariales para optimizar tiempo, recursos humanos, activos, productividad, al mismo tiempo que mejora el nivel de calidad de los productos y servicios a sus clientes (Vienazindiene and Ciarniene, 2013). La aplicación de esta filosofía ayuda a las empresas a proporcionar al cliente productos de máxima calidad a un bajo costo, mediante la eliminación de diferentes desperdicios en las formas de tiempo y productos, así de esta manera obtener una ventaja competitiva en el mercado mundial (Rocha, Ferreira and Silva, 2018).

La Manufactura Esbelta seguirá evolucionando, debido a que hoy en día, también las empresas que no son necesariamente de manufactura han recreado su uso,

adaptándola a sus organizaciones particulares sin importar qué producto entreguen con el propósito de ahorrar dinero (Cox, 2015). ME ha sido adoptada por miles de compañías que buscan la excelencia operacional, mediante la reducción de las actividades que no agregan valor, para incrementar la calidad de sus productos, eficiencia en sus procesos, mejorar la satisfacción del cliente y generar un ambiente para la mejora continua (Leksic, et al., 2020).

La Manufactura Esbelta exige mucho compromiso en todos los niveles, es decir desde altos mandos hasta el nivel de producción, ya que, en una organización la estandarización de los procesos es clave para poder medir los resultados, realizar un análisis de causa raíz y para ser capaces de reproducir los proyectos. El éxito de la Manufactura Esbelta no proviene de las herramientas que son utilizadas, más bien se deriva de la disciplina que se tiene para utilizar estas herramientas adoptadas (Zarbo, Copeland and Varney, 2017).

El principal desafío para las organizaciones que desean implementar Manufactura Esbelta, es demostrar que su implementación estimulará mejoras en el rendimiento operativo. La superación de este reto es crítica, debido a que se requiere una inversión significativa para mejorar los procesos y para el entrenamiento y desarrollo de personal capaz de mantener esos procesos. Un enfoque práctico es desarrollar una auditoría de eficiencia, que mida el alcance y el éxito de la implementación de ME y un análisis de las deficiencias, con el fin de identificar las oportunidades de mejora que pueden conducir a un mejor desempeño operacional (Taggart and Kienhöfer, 2013).

La aplicación de la Manufactura Esbelta aumenta la productividad mediante la reducción de los tiempos de preparación de la maquinaria e inventarios en proceso, mejorando los tiempos de procesamiento, y de esta manera ayuda a las organizaciones a mantener una ventaja competitiva en el mercado (Gollan et al., 2015). En concreto, la aplicación de manufactura esbelta podría ayudar a las empresas a reducir el tiempo de operación en un 50% y el costo en un 80%, ahorrar espacio de producción en un 30% y mejorar la productividad en un 30% como mínimo. Esto ha sido demostrado por numerosos casos de éxito en todo el mundo, incluyendo Toyota,

Nissan, GM, entre otras. ME se está convirtiendo en una nueva tendencia de gestión en el siglo 21 y posee una gran variedad de herramientas y técnicas que incluyen 5S, Kaizen (Mejora Continua), Mieruka (Gestión Visual), JIT, VSM, Trabajo estandarizado, SMED, Kanban, por mencionar algunas (Nguyen, 2015).

2.3.1 SMED

Para poder sobrevivir en un mundo competitivo como el de hoy en día, las empresas deben encontrar formas de reducir los costos de producción, aumentar la productividad y garantizar la eficiencia en la ejecución de sus procesos operativos. En este contexto industrial, se ha vuelto imperativo implementar metodologías que mejoren la productividad diaria de las líneas de ensamblaje, y que, de la misma manera, contribuyan a la mayor eficiencia de las máquinas y sus operadores (Antoniolli et al., 2017). Un estudio del trabajo en curso potencia la optimización de los procesos, a través de la medición cronológica de los tiempos requeridos para las diferentes tareas, lo que permite identificar cuáles de estos constituyen procesos de valor agregado. La identificación de tiempos no productivos permite proceder a su eliminación mediante la introducción de mejoras (Duran, Cetindere and Aksu, 2015).

La metodología desarrollada por Shigeo Shingo, denominada SMED (Intercambio de troquel en un minuto) propone que la preparación de la maquinaria se realice dentro de un período de tiempo máximo de 10 minutos. Esto se puede lograr mediante la racionalización de las tareas llevadas a cabo por el operador de la máquina (Rosa et al., 2017). Al centrarse en la eliminación de los residuos asociados a los cambios de herramienta en la fase de configuración, SMED permite la reducción de los tamaños de los lotes y permite satisfacer la fluctuación de la demanda. Además, elimina los desperdicios asociados a la acumulación de inventario y contribuye en la reducción de los tiempos de entrega (Choomlucksana, Ongsaranakorn and Suksabai, 2015).

Un aspecto fundamental de la metodología SMED se relaciona con su característica de identificar actividades internas y externas. Todas las actividades de preparación que no interfieren directamente con el equipo, y que pueden llevarse a cabo sin

interrumpir la producción, se designan como actividades externas. Por otro lado, aquellas que implican detener el equipo activo, se describen como actividades internas. La correcta separación de las actividades es lo que contribuye fundamentalmente a una reducción en los tiempos de preparación (Rodríguez-Méndez et al., 2015).

La implementación de SMED requiere un análisis previo para comprender claramente el proceso de cambio, con el fin de conocer en detalle cada operación de preparación. Costa et al. (2013), mencionan que la aplicación de esta metodología consiste en 4 etapas (Figura 2.1):

- Etapa Preliminar: Se enfoca en identificar las operaciones de preparación y las herramientas, con el propósito de adquirir una comprensión extremadamente buena de todo el proceso.
- Etapa 1: Separación de actividades internas y externas.
- Etapa 2: Convertir las actividades internas en externas.
- Etapa 3: Reducir y/o eliminar actividades internas y externas.

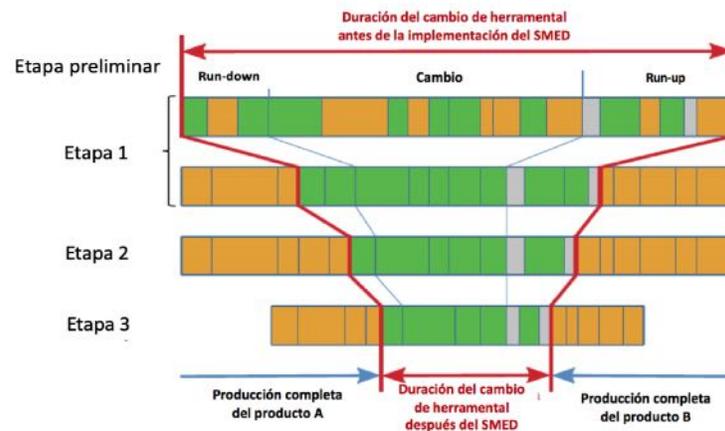


Figura 2.1. Etapas principales del sistema SMED y su impacto en los tiempos de cambio (Rodríguez-Méndez et al., 2015).

- **Casos de aplicación de SMED**

Jugos del Valle, una empresa productora de bebidas, perteneciente al grupo Coca Cola y Femsas, que decidió aplicar SMED en su planta Tepetzotlán en el Estado de México, en sus líneas de envasado en caliente (hot fill). En las líneas hot fill, se envasan productos como Powerade®, Minute Maid® y distintas variedades de Jugos del Valle, que se ofrecen en diferentes presentaciones, las que cada vez han incrementado más, reduciendo su capacidad de producción.

Mediante la implementación de SMED para cambios rápidos con apoyo de la metodología de eventos Kaizen se logró una reducción del 68% del tiempo de cambio. Para la gerencia de producción, haber alcanzado esta mejora, significó cumplir en mejor forma con el programa de entrega a los clientes, sin tener que recurrir a corridas largas de producción y menos tiempos muertos, lo que representó un incremento importante en su capacidad de producción (Ejecutivo, 2011).

Otro caso de aplicación de SMED, es el de una empresa del sector automotriz en el Reino Unido, la cual implementó una metodología basada en SMED y adaptada a una celda de soldadura industrial, mejorando con ello la productividad y logrando una reducción del 33% en los tiempos de cambio de herramental (Ferradás and Salonitis, 2013).

Se puede encontrar un tercer ejemplo en una empresa del ramo farmacéutico en México, donde se implementó la metodología SMED en una línea de empaque de medicamentos sólidos (tabletas) y después de siete meses se logró reducir los tiempos de limpieza y cambio herramental en un 57.5% (Minor, 2014).

2.3.2 5s

5S es un sistema utilizado para reducir los desperdicios y optimizar la productividad, mediante el mantenimiento de un lugar de trabajo ordenado y el uso de ayudas visuales, para lograr resultados operativos más consistentes. Los pilares de 5S son:

- Separar (Seiri)
- Ordenar (Seiton)
- Limpieza (Seiso)
- Estandarizar (Seiketsu)
- Mantener (Shitsuke)

Su objetivo principal es el proporcionar un método para la organización, la limpieza, el desarrollo y el mantenimiento de un ambiente de trabajo productivo. En el trabajo diario de una industria, las rutinas y el orden mantenidas por la organización son esenciales para el buen flujo y eficiencia de las actividades (Kumar y Kajal, 2015).

El Sistema de las 5S, es una metodología utilizada para crear y mantener un ambiente de trabajo organizado, limpio, eficiente y seguro. El método 5S también es utilizado en las fábricas metalúrgicas, especialmente en la identificación de posiciones, rutas de transporte, señalización de seguridad en los edificios para la protección de los trabajadores y la señalización de la ubicación exacta de las herramientas (Adis, 2014).

2.3.3 7 Desperdicios

Como se mencionó anteriormente, la Manufactura Esbelta se centra en identificar y eliminar las operaciones que no aportan valor, comúnmente conocidas como desperdicios. Se suele mencionar 7 desperdicios: sobreproducción, transporte, tiempo de espera, sobre procesar, exceso de inventario, movimientos innecesarios y defectos en el producto (Arunagiri y Babu, 2013).

Modi y Thakkar (2014), mencionan que Taiichi Ohno identificó los desperdicios que representan hasta el 95% de todos los costos en la fabricación tradicional:

- Sobreproducción: Producir en exceso, es decir por encima de los requerimientos del cliente.
- Transporte: Traslados de material y herramientas de un sitio a otro que no añaden valor al proceso.

- Tiempo de espera: Tiempos muertos, ya sea del personal o de cualquier máquina que se encuentre en un estado pasivo o de espera.
- Sobre procesar: Se originan cuando los procesos no son optimizados, de manera que se tienen actividades, que de ser analizadas y estandarizadas serían innecesarias.
- Exceso de inventario: Disponer de más producto del que nuestro cliente necesita, es decir, productos en proceso y terminados que no están siendo consumidos.
- Movimientos innecesarios: La realización de un movimiento más allá de lo necesario para llevar a cabo una tarea.
- Defectos del producto: Los defectos del producto no solo no aportan valor, sino que lo restan, ya que estos consumen recursos y generan costos.

2.3.4 Trabajo Estandarizado

La metodología del Trabajo Estándar tiene como objetivo estandarizar la secuencia y ejecución de actividades en cada estación de trabajo, y de esta manera asegurar que los procedimientos se realicen de la misma manera, independientemente del empleado involucrado. Sin embargo, antes de poder llevar a cabo la estandarización, la línea debe estar balanceada, es decir, las operaciones en cada estación de trabajo deben distribuirse para garantizar tiempos de disponibilidad equilibrados y un flujo productivo sin problemas, que satisfaga la demanda requerida (Antoniolli et al., 2017).

Se considera que el Trabajo Estandarizado constituye uno de los aspectos más importantes del pensamiento esbelto y es por esta razón que ambas metodologías se han utilizado con mucha frecuencia en el área de fabricación de componentes automotrices. Este sector ha ganado una creciente importancia en el mercado, debido a la alta calidad de sus productos, que constituyen el resultado de la estandarización de los procesos y las aplicaciones para garantizar la mejora continua (Kulkarni, 2015).

2.3.5 Kanban

Kanban es una herramienta de la Manufactura Esbelta, utilizada para controlar los niveles de inventario, la producción y el suministro de componentes. Sirve como un mecanismo de control de flujo de material, que entrega la cantidad correcta de piezas en el momento adecuado (Sundar, Balaji y Satheesh Kumar, 2014).

El sistema Kanban proporciona una producción de modelos mixtos junto con un nivel de inventario óptimo, que da como resultado un menor tiempo de entrega del producto y una utilización efectiva de recursos hombre-máquina. Se utiliza como una señal para indicar la necesidad de reemplazar o rellenar el material necesario para la producción. Hay diferentes maneras en las que la señal puede ser enviada, desde una tarjeta en la que se lleve un registro del inventario, hasta la colocación de un contenedor vacío en una estación, que indica que las partes que se encontraban en ese contenedor han sido utilizadas y necesitan ser reemplazadas (Thun et al., 2010).

El sistema Kanban se basa en un cliente para cada una de partes, el cual, extrae dicha parte de un proveedor. El cliente de la pieza puede ser un consumidor real de un producto terminado (externo) o el personal de producción en la siguiente estación en una planta de fabricación (interno), y del mismo modo, el proveedor podría ser la persona en la estación anterior. La premisa de Kanban es que el material no se producirá ni se moverá hasta que un cliente envíe la señal para hacerlo (Rahman, Sharif y Esa, 2014).

3. METODOLOGÍA

La investigación se define como “un conjunto de procesos sistemáticos y empíricos que se aplica al estudio de un fenómeno” (Sampieri et al., 2016).

La metodología de este trabajo inicia con la búsqueda de información sobre diferentes casos de implementación de SMED para reducir los cambios de herramientas, la cual se realizó para la documentación del marco teórico. A continuación, se realizará un estudio descriptivo con un enfoque cuantitativo, mediante la recolección de datos que nos permitan conocer la situación actual de la empresa con respecto a los desperdicios en los procesos productivos. Es importante tomar en cuenta las barreras y limitantes, con el fin de eliminarlas o reducirlas al máximo posible. Finalmente, se documentarán y se darán a conocer los resultados de la investigación, así como de donde provienen.

3.1 Estructura metodológica

La metodología propuesta surge a partir de los eventos kaizen (mejora continua en japonés), la cual se lleva a cabo en 8 pasos, empezando por la definición del problema para entender el objetivo del proyecto, hasta finalizar con la estandarización de la mejora y presentación de resultados.

Con base en lo anterior, se propone la siguiente metodología, la cual está estructurada como se muestra en la Figura 3.1.

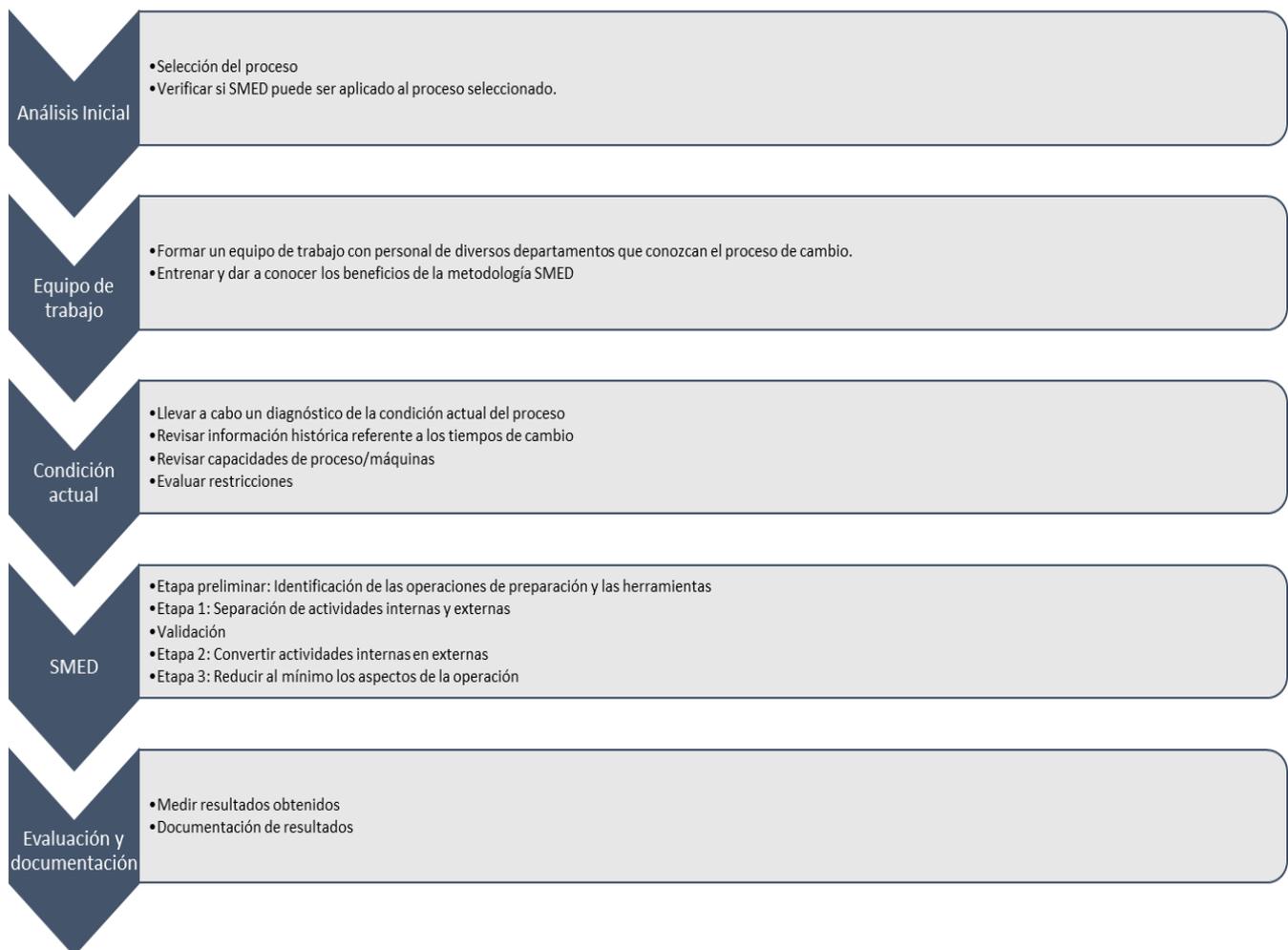


Figura 3.1.- Metodología propuesta (Elaboración propia).

3.1.1 Análisis Inicial

En esta primera fase es importante estudiar todos los procesos dentro de la empresa en la que se está realizando la investigación, con el fin de identificar aquellos en los que se generan mayores pérdidas o desperdicios. Es necesario identificar primero las oportunidades de mejora mediante un análisis de la cadena de valor, en el cual se examinarán cada una de las partes en el proceso, desde que se recibe la materia prima, hasta que estas son embarcadas como productos terminados al cliente.

A continuación, se describirán las actividades involucradas en la fase de Análisis Inicial:

- **Selección del proceso:** Esta actividad consiste en seleccionar uno de los procesos de la empresa, con ayuda del estudio de la cadena de valor para detectar desperdicios en el proceso y sus flujos.
- **Verificar si SMED puede ser aplicado al proceso seleccionado:** La metodología SMED, puede desarrollarse prácticamente en cualquier situación en donde exista la necesidad de llevar a cabo cambios rápidos de herramientas, cambios de productos, entre otros. Se recomienda aplicar esta metodología si el proceso representa el cuello de botella de la producción, si no es un proceso flexible o si existen altos costos por paros productivos (Espin, 2013).

3.1.2 Formación de equipo de trabajo

Es esencial formar un equipo en el que se involucre personal de todos los departamentos que se relacionan directamente con el proceso seleccionado, para de esta manera, obtener fácilmente observaciones referentes a las condiciones actuales del proceso y en la implementación de mejoras. Así también, es importante capacitar el personal involucrado en el uso de la metodología SMED y su aplicación en la industria.

3.1.3 Condición actual

El equipo de trabajo deberá estudiar los flujos para analizar las deficiencias en el proceso e identificar los desperdicios y áreas de oportunidad. Para hacer los estudios se obtendrá información de datos históricos con respecto a los tiempos de preparación, si es que se cuenta con alguna, así como procedimientos, tendencias y causas de tiempos muertos, entre otros. Es necesario realizar un levantamiento de información referente a las capacidades del proceso/máquina, así como la toma de datos respecto a tasas de tiempo muerto.

Después se deberán enlistar las restricciones que existen en todo el proceso de cambio. Empezando por las restricciones físicas, seguridad, monetarias para la adquisición de equipo, y finalmente del proceso.

En esta fase se buscará definir las acciones de mejora en conjunto con el equipo involucrado y hacer un plan para llevar a cabo estas acciones que buscarán abordar y resolver la problemática.

3.1.4 SMED

Como se mencionó en el capítulo anterior, la aplicación de la metodología SMED, cuenta con una serie de etapas (Costa et al., 2013), las cuales se pueden adaptar a las condiciones actuales del sistema de cambios. Por tal razón, se trabajará bajo ese esquema como se describe a continuación:

- **Etapa preliminar:** En esta etapa, se buscará identificar las operaciones de preparación y las herramientas, con el propósito de conocer y entender el proceso de cambio y preparación de la maquinaria. Una parte importante, es documentar cada una de las actividades realizadas y cubrir todos los aspectos que intervengan durante este proceso.
- **Etapa 1, Separación de actividades internas y externas:** Después de que el equipo conoce y entiende las actividades que se desarrollan durante el proceso de cambio, éstas deberán ser separadas en internas y externas, es decir, se deberán identificar todas las actividades realizadas mientras el equipo se encuentra detenido (internas) y todas aquellas que se pueden llevar a cabo mientras la máquina está funcionando (externas). De esta manera, el equipo será capaz de enfocarse en las actividades que más tiempo requieren y que tienen oportunidad de mejora.
- **Validación:** En esta fase se incluirá un proceso de validación antes de pasar a la etapa 2, con el propósito de comprobar que identificamos correctamente cada una de las actividades realizadas durante el proceso de cambio de herramienta

y que no pasamos alguna por alto, además de cerciorarnos de que fueron clasificadas de manera adecuada.

- **Etapa 2, Convertir actividades internas a externas.** Habiendo identificado cada una de las actividades, se buscará convertir, en la medida de lo posible, las actividades internas a externas, con el objetivo de reducir el tiempo que la máquina se encuentra fuera de operación.
- **Etapa 3, Reducir al mínimo los aspectos de la operación.** En esta etapa, se buscará optimizar todas las actividades, tanto internas como externas, con el objetivo de reducir al máximo los tiempos empleados en el proceso de cambio.

3.1.5 Evaluación y Documentación

El uso de medibles contribuye a la mejora continua en las actividades de la empresa y lo podemos ver reflejado en la optimización de los procesos y los recursos disponibles, la reducción de costos, la satisfacción de los clientes, entre otros beneficios.

La medición de los resultados es una parte fundamental para conocer si logramos el/los objetivos planteados. Funciona como una comparación entre la situación previa y posterior a la implementación de las mejoras. Esta comparación reflejará fácilmente si se lograron alcanzar los resultados deseados.

Finalmente, habiendo establecido el nuevo método de trabajo, los estándares requeridos y la forma de seguimiento de los tiempos, es importante documentar todo lo realizado durante el proyecto desde su inicio hasta llegar a los resultados obtenidos. Esto funcionará como base para la aplicación de nuevos proyectos donde se involucre la metodología SMED.

4. IMPLEMENTACIÓN

A continuación, se describe la ejecución del proyecto utilizando la metodología descrita en el capítulo anterior.

4.1 Análisis Inicial

Este estudio tendrá como enfoque principal el área productiva, es decir, el lugar donde son procesados los materiales para su transformación a producto terminado. Dentro de las áreas productivas con las que cuenta la planta se encuentra el área de Insertos, la cual cuenta con dos procesos, producción de alambres y partes batch.

El proyecto se centrará en las mejoras de la producción de alambre, para la cual se cuenta con 18 equipos, los cuales se dividen en máquinas cortadoras, dobladoras, CNC's y soldadoras. Se decidió elegir el proceso mencionado, ya que es un proceso en donde se presentan los tiempos más prolongados en cuanto a cambio de herramental se refiere. Mediante la revisión de tiempos muertos, se tomó la decisión de trabajar con los equipos con mayor impacto en el tiempo de entrega hacia el cliente, siendo estos, la cortadora 50 y OMCG.

La necesidad en estos equipos nace principalmente de reducir los desperdicios derivados del cambio de herramental, el cual origina tiempos muertos, afectando el ritmo de producción del área y la flexibilidad para producir más de un número de parte, además de provocar cuellos de botella constantemente, lo que lleva a la reducción en los bancos de producto terminado. En la figura 4.1 se muestra el área de estudio y las máquinas señaladas en rojo son las mencionadas como el enfoque principal de la investigación.

La cortadora 50 (Figura 4.2), endereza y corta alambre de diferentes longitudes y de dos distintos calibres, 2 mm y 5 mm, los cuales son surtidos a otras 6 máquinas encargadas de producir diferentes números de parte. Para este proceso, se utilizan varios tipos de guías dependiendo del calibre con el que esté trabajando (Figura 4.3).

La máquina OMCG (Figura 4.4), endereza, da forma y corta 6 componentes. Para dar forma a los alambres se utilizan 2 tipos de matrices (Figura 4.5), una matriz fija y una de rodillo, dependiendo el tipo de doblez y ángulo requeridos en cada uno. La matriz fija se encarga de doblar los alambres M, N y O, mientras que la de rodillo dobla los alambres C, D y J.

La cortadora 50 requiere cambio de guías 2 veces por semana y la estación OMCG 4 cambios de matrices por semana. Ambos equipos se encuentran al máximo de su capacidad, por lo que cualquier falla o paro no programado afecta directamente el cumplimiento del requerimiento del cliente.

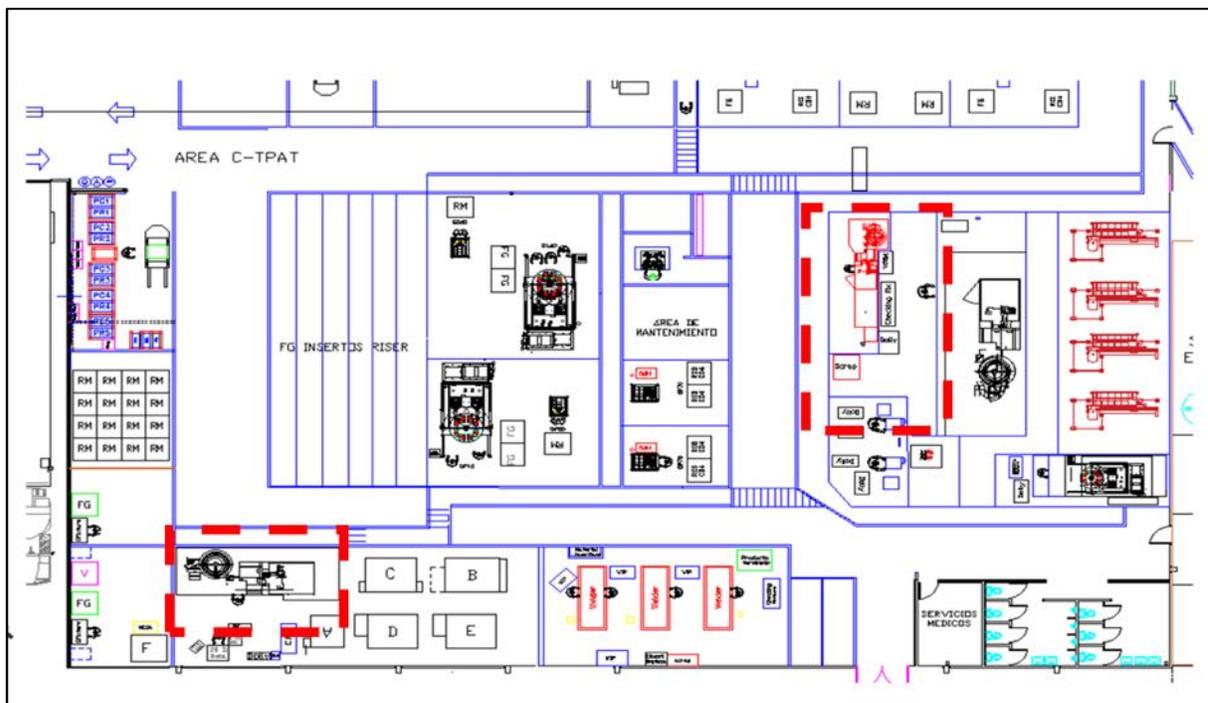


Figura 4.1. Área de estudio (Elaboración propia).



Figura 4.2. Cortadora 50.



Figura 4.3. Guías para enderezado de alambre.



Figura 4.4. OMCG.

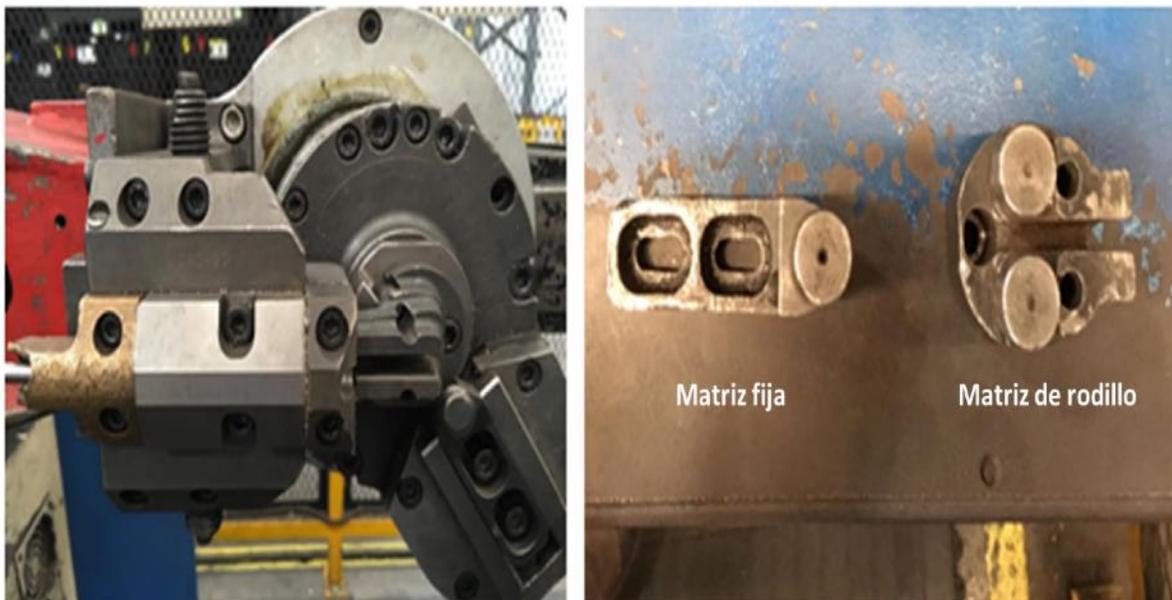


Figura 4.5. Matrices OMCG.

4.2 Formación del equipo de trabajo

Para el equipo de trabajo se eligió un representante de cada uno de los departamentos involucrados directamente con el proceso y que cuentan con conocimiento relacionado con los cambios de herramental (Figura 4.6).

Una vez integrado el equipo, los miembros participaron en un entrenamiento referente a las herramientas de Manufactura Esbelta, teniendo como enfoque principal el SMED, en el cual se les concientizó sobre los beneficios de la implementación de estas (Figura 4.7). Adicional al entrenamiento, se les presentó los objetivos del proyecto y se les explicó la importancia de lograr reducciones en los cambios de herramental, haciendo énfasis en los siguientes puntos:

1. Creación de una cultura de mejora continua
2. Beneficios de tener un sistema estandarizado
3. Costos de tener un equipo sin operar
4. Beneficios de mejorar los tiempos de cambio
5. Involucramiento en el proceso de mejora



Figura 4.6. Equipo de trabajo.



Figura 4.7. Entrenamiento de equipo de trabajo.

4.3 Diagnóstico de la condición actual

Un pensamiento común en la industria manufacturera, es que el proceso de cambio solo depende del departamento de manufactura, sin embargo, es todo un sistema que requiere del involucramiento y la participación de todos los departamentos; desde la persona encargada de generar el programa de producción, pasando por un supervisor de manufactura que debe de coordinar la colaboración entre el equipo de operadores, calidad, ingeniería, materiales y mantenimiento, para llevar el control de los tiempos y las necesidades de los cambios. La falta de comunicación y coordinación por parte de las personas involucradas en los cambios ha tenido un impacto negativo en los tiempos programados de producción.

El primer paso fue investigar si existía documentación histórica referente a cambios de herramental en los equipos de insertos. Se encontró que la cortadora 50 y la OMCG, tiene cargado un total de 1 hora para esta actividad en el documento oficial de capacidades del área de insertos, tiempo que fue establecido a inicios del programa 8 años atrás. Considerando que en la actualidad los volúmenes de producción son

mayores, que los equipos no se encuentran en las mismas condiciones y que existe una mayor variedad de productos, los tiempos de cambio plasmados en ese documento no reflejan la capacidad real de esas máquinas.

Otro hallazgo realizado, fue el hecho de que ningún departamento llevaba un seguimiento a los cambios de herramental en esa área. La información de tiempos muertos se encontraba en las bitácoras de ajustes de mantenimiento y en los reportes de producción, pero no había manera de saber de forma precisa cuales de ellos pertenecían a los cambios de herramental. Por esta razón, el equipo decidió implementar una bitácora para que el líder del área llevara registro de esta actividad y de los tiempos empleados. Por medio de este registro, fue posible recolectar 15 muestras de los tiempos de cambio de cada equipo (Tabla 4.1 y Tabla 4.2).

Cortadora 50					
Muestra	Minutos	Horas	Muestra	Minutos	Horas
1	172	2.87	9	165	2.75
2	168	2.80	10	164	2.73
3	165	2.75	11	160	2.67
4	167	2.78	12	159	2.65
5	169	2.82	13	162	2.70
6	161	2.68	14	165	2.75
7	166	2.77	15	168	2.80
8	163	2.72			

Tabla 4.1. *Tiempos de cambio de guías en cortadora 50.*

OMCG					
Muestra	Minutos	Horas	Muestra	Minutos	Horas
1	94	1.57	9	87	1.45
2	91	1.52	10	89	1.48
3	89	1.48	11	94	1.57
4	90	1.50	12	90	1.50
5	92	1.53	13	90	1.50
6	85	1.42	14	91	1.52
7	90	1.50	15	86	1.43
8	93	1.55			

Tabla 4.2. Tiempos de cambio de matrices en OMCG.

En las siguientes gráficas (Figura 4.8 y Figura 4.9), se pueden observar los datos obtenidos de cada equipo y contra el tiempo asignado para el cambio.

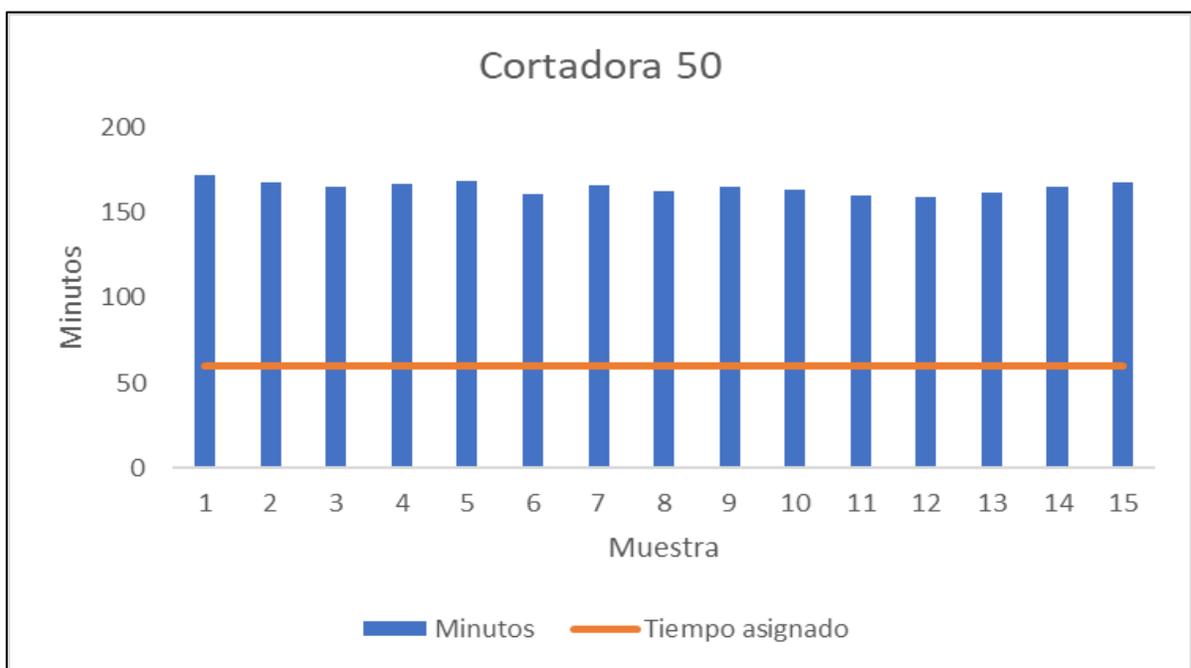


Figura 4.8. Tiempos de cambio de guías en Cortadora 50.

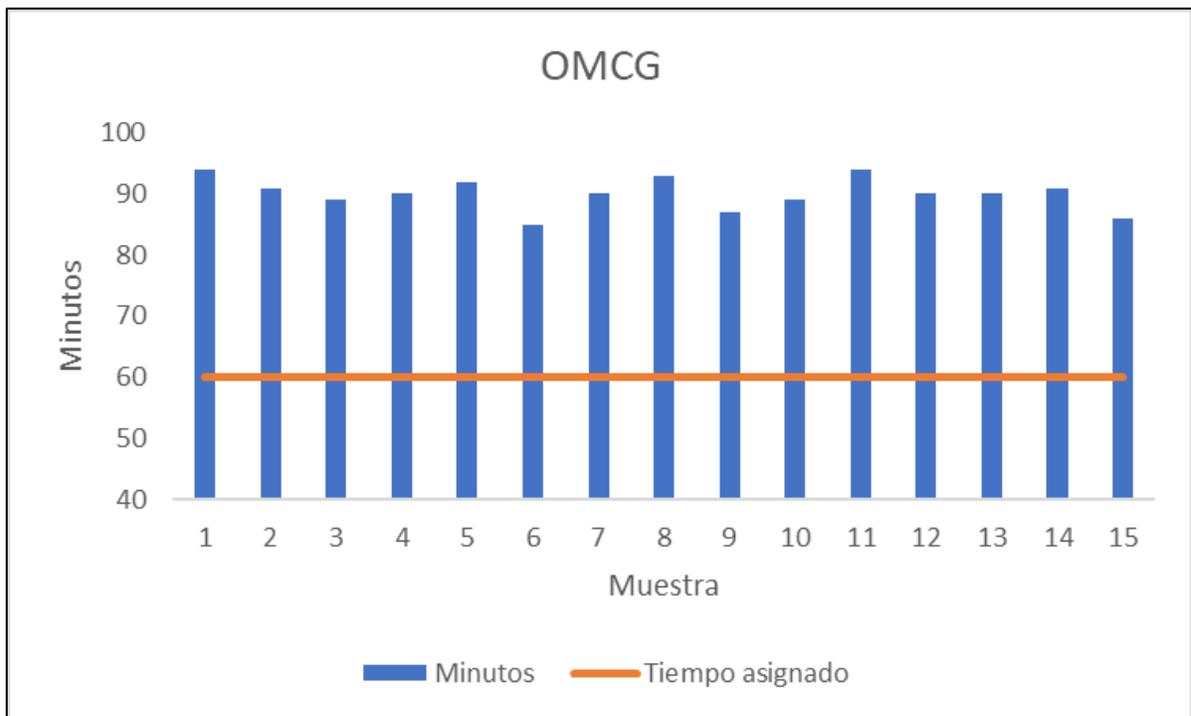


Figura 4.9. *Tiempos de cambio de matrices en OMCG.*

Mediante estos datos podemos observar que los tiempos de cambio son mayores a los asignados al inicio del programa. El tiempo promedio para la cortadora 50 es de 165 minutos y el de la OMCG es de 90 minutos.

La planta de Estructuras trabaja un total de tres turnos cinco días por semana y las horas disponibles para producir son 127. El requerimiento semanal del cliente es de 11,000 piezas, por lo que, para poder cumplir se debe de producir a un ritmo de 87 piezas por hora (Tabla 4.3).

Con base a la información anterior, en los tiempos y la frecuencia de cambio, se calcularon los porcentajes de carga actuales (Tabla 4.4 y Tabla 4.5), obteniendo un 98% de utilización en ambas máquinas. Por trabajar bajo un sistema justo a tiempo, las capacidades se calculan a un 85%, de esta manera, se tiene un 15% disponibilidad del equipo como protección en caso de que llegue a ocurrir alguna falla o un evento no programado. Podemos entonces concluir, que ambos equipos se encuentran 14% arriba de lo esperado y que están al límite de su capacidad.

DESCRIPCIÓN	CANTIDADES	DISTRIBUCIÓN POR TURNOS		
		TURNO	MOD	HORAS POR SEMANA
PPW	11000			
HORAS DISPONIBLES	127	T1	1	45
REQUERIMIENTO (PPH)	87	T2	1	42
TAKT TIME (SEG)	41.6	T3	1	40
Tiempo Disponible Total				127

Tabla 4.3. Requerimiento semanal.

CARGAS DE TRABAJO
Estacion 50 - Cortadora

Operaciones	T.E.	Uso por jgo	% de carga	T.E. Total	T.E. Norm	MOD	Tiemp disp /hr	Cap PPH	% de carga
Estacion 50-Cortadora									
Cortado de Alambre A (5 mm)	1.5	1	100%	1.5					
Cortado de Alambre E (5 mm)	1.3	1	100%	1.3					
Cortado de Alambre G (5 mm)	1.5	1	100%	1.5					
Cortado de Alambre B (2 mm)	1.2	1	100%	1.2					
Cortado de Alambre C (2 mm)	1.2	1	100%	1.2					
Cortado de Alambre D (2 mm)	1.2	1	100%	1.2					
Cambio de Se Up	6600.0	0.005	100%	33.0					
Total:				40.9	40.9	1	3600	88.0	98%

Tabla 4.4. Carga de trabajo Cortadora 50.

CARGAS DE TRABAJO
Estacion 1B - OMCG

Operaciones	T.E.	Uso por jgo	% de carga	T.E. Total	T.E. Norm	MOD	Tiemp disp /hr	Cap PPH	% de carga
-------------	------	-------------	------------	------------	-----------	-----	----------------	---------	------------

Estacion 1B - OMCG

Doblado Alambre C	4.5	1	100%	4.5					
Doblado Alambre D	4.5	1	100%	4.5					
Doblado Alambre J	3.7	1	100%	3.7					
Doblado Alambre M	3.2	1	100%	3.2					
Doblado Alambre N	3.5	1	100%	3.5					
Doblado Alambre O	3.5	1	100%	3.5					
Cambio de Se Up	3600.0	0.005	100%	18.0					
Total:				40.9	40.9	1	3600	88.0	98%

Tabla 4.5. Carga de trabajo OMCG.

En cuanto a limitaciones, a continuación, se describen para cada una de las estaciones:

Cortadora 50

1. Cuando se requiere hacer cambio a alambre de otro calibre, el operador de la estación detiene el equipo y solicita al surtidor del área por radio el rollo de alambre nuevo.
2. Todas las guías utilizadas se encuentran guardadas, sin ningún orden y sin identificación en una misma caja y el operador tiene que revisar una por una en busca de las que va a utilizar dependiendo del calibre del alambre (Figura 4.10).
3. Todas las guías van montadas sobre una misma pieza en la máquina, cuando se requiere hacer el cambio, debe retirarse primero la pieza, quitar las guías que estaban en uso y luego reemplazarlas por las que se van a utilizar.
4. Se tiene un tope mecánico para la longitud del alambre que se ajusta dependiendo del calibre (Figura 4.11).



Figura 4.10. Búsqueda de guías.



Figura 4.11. Ajuste de tope.

OMCG

1. Cuando se va a producir un número de parte que requiere un cambio de matriz, el operador detiene la estación para poder entrar, retirar la matriz en uso y reemplazarla por la nueva. Al reemplazarla tiene que rutear el alambre y verificar el enderezado, para lo cual tiene que salir de la estación, cortar alambre y detener la estación nuevamente para poder entrar a revisarlo. Esto lo realiza cuantas veces sea necesario hasta que el alambre haya sido enderezado correctamente antes de empezar la producción.

4.4 SMED

Etapa preliminar

Con la ayuda de una cámara de video, se realizaron 5 tomas de cambios en cada uno de los equipos, para poder analizar el procedimiento con mayor detalle y ser capaces de identificar cada una de las actividades y el tiempo que lleva cada una de ellas. Con la información recolectada, se realizó un desglose de cada uno de los cambios (Tabla 4.6 y Tabla 4.7).

No	Actividad	Tiempo
1	Entrar a estación	0:00:15
2	Retirar alambre de rodillos	0:15:10
3	Desmontar matriz en uso	0:03:55
4	Buscar matriz nueva	0:00:27
5	Montar matriz nueva	0:04:34
6	Rutear alambre en rodillos	0:17:44
7	Salir de estación	0:00:17
8	Enderezar alambre	0:48:24
Current total		1:30:46

Tabla 4.6. Cambio de matriz OMCG.

No	Actividad	Tiempo
1	Solicitar montacargas	0:02:15
2	Llega montacargas	0:15:15
3	Liberar rollo	0:03:55
4	Desmontar e instalar rollo 2mm (montacargas)	0:05:37
5	Sujetar rollo (tornillos)	0:03:34
6	Desmontar guía #1 (5mm)	0:02:44
7	Buscar guía #1 (2mm)	0:05:37
8	Montar pieza #1 (2mm)	0:03:17
9	Desmontar 2 guías #2 (5mm)	0:03:26
10	Bucar 2 guías #2 (2mm)	0:04:30
11	Montar 2 guías #2 (2mm)	0:02:31
12	Desmontar 2 guías #3 (5mm)	0:02:13
13	Bucar 2 guías #3 (2mm)	0:05:13
14	Montar 2 guías #3 (2mm)	0:03:02
15	Desmontar 2 guías #4 (5mm)	0:03:31
16	Bucar 2 guías #4 (2mm)	0:03:10
17	Montar 2 guías #4 (2mm)	0:01:40
18	Desmontar 8 rodillos (5mm)	0:02:37
19	Buscar 8 rodillos (2mm)	0:05:54
20	Montar 8 rodillos (2mm)	0:02:29
21	Desmontar Navaja de corte N1 (5mm)	0:01:37
22	Desmontar Navaja de corte N2 (5mm)	0:02:50
23	Bucar Navaja de corte N1 (2mm)	0:04:43
24	Buscar Navaja de corte N2 (2mm)	0:03:28
25	Montar Navaja de corte N1 (2mm)	0:02:19
26	Montar Navaja de corte N2 (5mm)	0:01:40
27	Desmontar guía Final	0:06:20
28	Limpiar canal de guía final	0:09:40
29	Montar guía final	0:15:00
30	Ajuste de parámetros	0:35:00
Current total		2:45:07

Tabla 4.7. Cambio de guías cortadora 50.

Etapa 1: Separación de actividades internas y externas

Una vez desglosadas cada una de las actividades de los cambios de herramental, el equipo se enfocó en la separación de actividades. Con esta dinámica, surgieron varias ideas de mejora, ya que se pudieron observar actividades que pueden ser desarrolladas durante el tiempo de operación de la máquina, y por lo tanto reducir el tiempo que se tiene fuera de operación (Tabla 4.8 y Tabla 4.9).

No	Actividad	Tiempo		Categoría inicial		Ideas de mejora
		Acumulado	Elemento	Externa	Interna	
1	Entrar a la estación	0:00:15	0:00:15	0:00:00	0:00:15	
2	Retirar alambre de rodillos	0:15:25	0:15:10	0:00:00	0:15:10	
3	Desmontar matriz en uso	0:19:20	0:03:55	0:00:00	0:03:55	
4	Buscar matriz nueva	0:19:47	0:00:27	0:00:00	0:00:27	
5	Montar matriz nueva	0:24:21	0:04:34	0:00:00	0:04:34	Comunizar matrices y utilizar una sola
6	Rutear alambre en rodillos	0:42:05	0:17:44	0:00:00	0:17:44	
7	Salir de estación	0:42:22	0:00:17	0:05:07	0:00:17	
8	Enderezar alambre	1:30:46	0:48:24	0:00:00	0:48:24	
				Current Total	0:05:07	1:30:46

Tabla 4.8. Separación de actividades internas y externas OMCG.

No	Actividad	Tiempo		Categoría inicial		Ideas de mejora
		Acumulado	Elemento	Externa	Interna	
1	Solicitar montacargas	0:02:15	0:02:15	0:02:15	0:00:00	Solicitar montacargas antes de detener la máquina
2	Llega montacargas	0:17:30	0:15:15	0:15:15	0:00:00	Detener el equipo hasta que llegue el montacargas
3	Liberar rollo	0:21:25	0:03:55	0:00:00	0:03:55	
4	Desmontar e instalar rollo 2mm (montacargas)	0:27:02	0:05:37	0:00:00	0:05:37	
5	Sujetar rollo (tornillos)	0:30:36	0:03:34	0:00:00	0:03:34	
6	Desmontar guía #1 (5mm)	0:33:20	0:02:44	0:00:00	0:02:44	
7	Buscar guía #1 (2mm)	0:38:57	0:05:37	0:05:07	0:00:00	Buscar previamente las guías y separarlas
8	Montar pieza #1 (2mm)	0:42:14	0:03:17	0:00:00	0:03:17	
9	Desmontar 2 guías #2 (5mm)	0:45:40	0:03:26	0:00:00	0:03:26	
10	Bucar 2 guías #2 (2mm)	0:50:10	0:04:30	0:04:30	0:00:00	Identificar piezas y asignarles un lugar
11	Montar 2 guías #2 (2mm)	0:52:41	0:02:31	0:00:00	0:02:31	
12	Desmontar 2 guías #3 (5mm)	0:54:54	0:02:13	0:00:00	0:02:13	
13	Bucar 2 guías #3 (2mm)	1:00:07	0:05:13	0:05:13	0:00:00	Identificar piezas
14	Montar 2 guías #3 (2mm)	1:03:09	0:03:02	0:00:00	0:03:02	
15	Desmontar 2 guías #4 (5mm)	1:06:40	0:03:31	0:00:00	0:03:31	
16	Bucar 2 guías #4 (2mm)	1:09:50	0:03:10	0:03:10	0:00:00	Identificar piezas
17	Montar 2 guías #4 (2mm)	1:11:30	0:01:40	0:00:00	0:01:40	
18	Desmontar 8 rodillos (5mm)	1:14:07	0:02:37	0:00:00	0:02:37	
19	Buscar 8 rodillos (2mm)	1:20:01	0:05:54	0:05:54	0:00:00	Identificar piezas
20	Montar 8 rodillos (2mm)	1:22:30	0:02:29	0:00:00	0:02:29	
21	Desmontar Navaja de corte N1 (5mm)	1:24:07	0:01:37	0:00:00	0:01:37	
22	Desmontar Navaja de corte N2 (5mm)	1:26:57	0:02:50	0:00:00	0:02:50	
23	Bucar Navaja de corte N1 (2mm)	1:31:40	0:04:43	0:04:13	0:00:00	Identificar piezas
24	Buscar Navaja de corte N2 (2mm)	1:35:08	0:03:28	0:03:28	0:00:00	Identificar piezas
25	Montar Navaja de corte N1 (2mm)	1:37:27	0:02:19	0:00:00	0:02:19	
26	Montar Navaja de corte N2 (5mm)	1:39:07	0:01:40	0:00:00	0:01:40	
27	Desmontar guía Final	1:45:27	0:06:20	0:06:20	0:00:00	Fabricar que la guía para que sea una sola pieza
28	Limpiar canal de guía final	1:55:07	0:09:40	0:09:40	0:00:00	Limpiar antes de detener la máquina
29	Montar guía final	2:10:07	0:15:00	0:00:00	0:15:00	Estandarizar tornillería
30	Ajuste de parámetros	2:45:07	0:35:00	0:00:00	0:35:00	Revisar aspro presión no conforme al estandar
Current Total				1:05:05	1:39:02	

Tabla 4.9. Separación de actividades internas y externas cortadora 50.

Validación

Habiendo identificado y separado cada una de las actividades del cambio de herramental, el equipo regresó al proceso para revisar cada una nuevamente y así comprobar que no se había pasado alguna por alto. Además, se aprovechó esta oportunidad para comprobar que los tiempos que se les había asignado con base a lo observado en los videos tomados durante la etapa preliminar eran precisos (Figura 4.12).



Figura 4.12. Validación de actividades.

Etapa 2: Convertir actividades internas a externas

Como se comentó en la etapa 1, gracias al desglose de las actividades del cambio de herramental, surgieron varias ideas de mejora con el objetivo de disminuir el tiempo muerto de los equipos.

Para la OMCG, la idea de mejora que surgió fue la de utilizar una sola matriz para dar forma a todos los alambres. De esta manera eliminaríamos el cambio de herramienta en ese equipo y el tiempo muerto derivado de esta actividad.

Con ayuda de los operadores de la estación se hicieron pruebas con ambas matrices para ver si alguna era capaz de producir todos los números de parte. Mediante el ajuste de parámetros de cada alambre, se logró utilizar la matriz fija para el doblado de los 6 alambres.

Se pidió al departamento de Calidad, apoyo para validar cada uno de ellos en cada uno de los fixtures de liberación y ensamblados a nivel producto terminado (Figura 4.13), quedando todos de acuerdo con especificación.

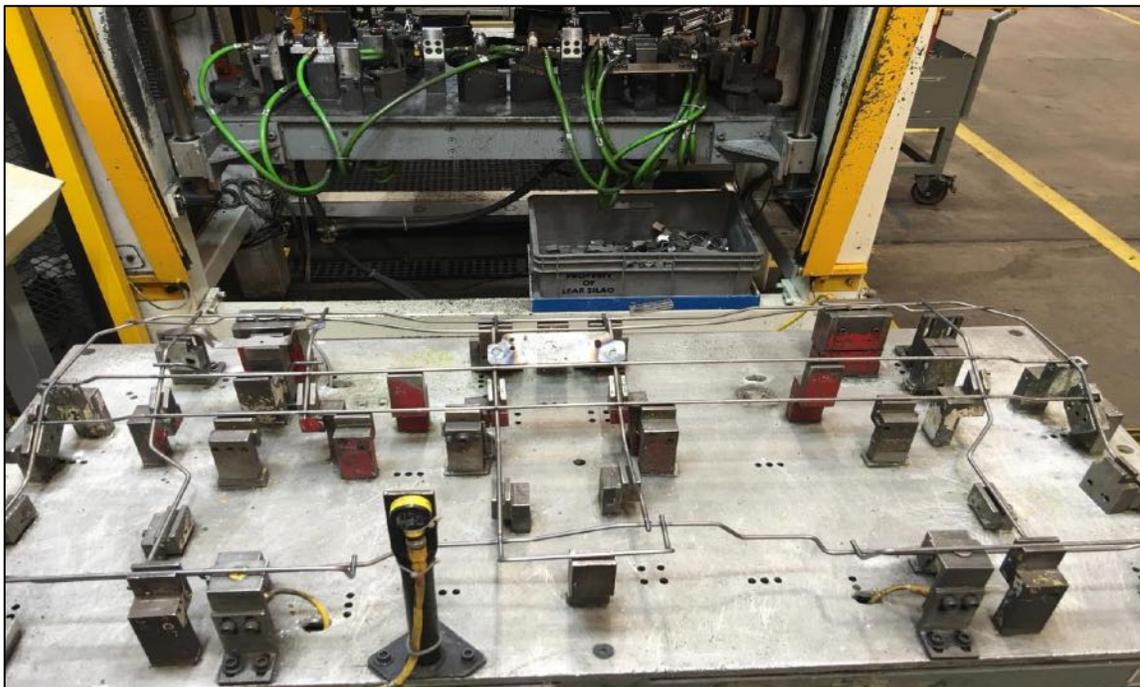


Figura 4.13. Alambres ensamblados verificados por calidad.

Adicional, se produjeron muestras y se probaron en los moldes en donde estos alambres son utilizados para cerciorarnos que no presentarían ningún problema de calidad o en la operación (Figura 4.14).



Figura 4.14. Prueba en molde.

El equipo presentó la propuesta a los gerentes de cada uno de los departamentos involucrados y debido a que no se produjo ningún problema en las pruebas realizadas, se autorizó la eliminación del uso de la matriz de rodillo, para reemplazarla por la matriz fija.

Para esta mejora, se actualizó la hoja de proceso, indicando el uso de una sola matriz y eliminando el cambio de herramental.

En el caso de la cortadora 50, para evitar desmontar el bloque en el equipo en donde se insertan las guías, tener que retirar las que estaban en uso y colocar las nuevas, se decidió fabricar con ayuda del taller de planta guías de una sola pieza, para cada calibre del alambre, y de esta manera tener guías exclusivas para el alambre de 2 mm y otras para el de 5 mm (Figura 4.15).



Figura 4.15. Guías nuevas.



Figura 4.16. Identificaciones en guías.

Otra actividad que se hizo fue identificar cada una de ellas con una etiqueta para poder localizar más fácilmente la que se necesita (figura 4.16), además, se ordenaron y se les asignó un lugar para que el operador las tuviera al alcance. (Figura 4.17).



Figura 4.17. Lugar asignado para las guías.

Para eliminar el tiempo por ajustes en el tope para la longitud del alambre dependiendo del calibre, se agregó un dispositivo adicional, teniendo así uno para cada uno (Figura 4.18).

Por último, se elaboró una instrucción de trabajo para el cambio de herramienta, buscando estandarizar el método y plasmar las mejoras realizadas, y de esta manera optimizar el proceso.



Figura 4.18. Topes mecánicos.

4.5 Evaluación y Documentación

Con la eliminación de la actividad de cambio de matriz en la OMCG, se calculó nuevamente la carga de trabajo (Tabla 4.10), y se pudo observar una disminución del 41%. Si bien los tiempos de ciclo se incrementaron por el uso de una sola matriz, podemos ver que la mejora tuvo un impacto considerable en la utilización de la máquina y eliminó el tiempo muerto por cambio de herramental.

En la cortadora 50, se realizaron tomas de tiempo para el cambio de guías después de la implementación de SMED. Se tomaron 15 muestras (Tabla 4.11), obteniendo un tiempo promedio de 90 minutos. De igual manera se calculó la carga de trabajo (Tabla 4.12), obteniendo una reducción del 39% ayudando a que la máquina tenga mayor flexibilidad.

CARGAS DE TRABAJO
Estacion 1B- OMCG

Operaciones	T.E.	Uso por jgo	% de carga	T.E. Total	T.E. Norm	MOD	Tiemp disp /hr	Cap PPH	% de carga
-------------	------	-------------	------------	------------	-----------	-----	----------------	---------	------------

Estacion 1B- OMCG

Doblado Alambre C	5.1	1	100%	5.1					
Doblado Alambre D	5.0	1	100%	5.0					
Doblado Alambre J	4.3	1	100%	4.3					
Doblado Alambre M	4.7	1	100%	4.7					
Doblado Alambre N	4.5	1	100%	4.5					
Doblado Alambre O	4.2	1	100%	4.2					
Cambio de Set Up	0.0	0.005	100%	0.0					
Total:				27.8	23.6	1	3600	152.5	57%

Tabla 4.10. Carga de trabajo OMCG después de la mejora.

Cortadora 50					
Muestra	Minutos	Horas	Muestra	Minutos	Horas
1	87	1.45	9	88	1.47
2	94	1.57	10	93	1.55
3	91	1.52	11	92	1.53
4	89	1.48	12	89	1.48
5	82	1.37	13	91	1.52
6	90	1.50	14	90	1.50
7	89	1.48	15	88	1.47
8	93	1.55			

Tabla 4.11. Tiempos de cambio de guías después de SMED.

CARGAS DE TRABAJO
Estacion 50 - Cortadora

Operaciones	T.E.	Uso por jgo	% de carga	T.E. Total	T.E. Norm	MOD	Tiemp disp /hr	Cap PPH	% de carga
-------------	------	-------------	------------	------------	-----------	-----	----------------	---------	------------

Estacion 50 - Cortadora

Cortado de Alambre A (5 mm)	1.5	1	100%	1.5					
Cortado de Alambre E (5 mm)	1.3	1	100%	1.3					
Cortado de Alambre G (5 mm)	1.5	1	100%	1.5					
Cortado de Alambre B (2 mm)	1.2	1	100%	1.2					
Cortado de Alambre C (2 mm)	1.2	1	100%	1.2					
Cortado de Alambre D (2 mm)	1.2	1	100%	1.2					
Cambio de Set Up	3600.0	0.005	100%	18.0					
Total:				25.9	24.7	1	3600	145.7	59%

Tabla 4.12. Carga de trabajo cortadora 50 después de SMED.

Mediante los videos, hojas de recolección de datos y hojas de instrucciones, se documentó todo el proceso de mejora. Toda la información se le proporcionó al departamento de ingeniería para poder ser utilizada como referencia en proyectos futuros que impliquen el uso de la metodología SMED.

5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos por la aplicación de este proyecto coinciden con la hipótesis planteada al inicio del documento. La implementación de la metodología SMED, nos permitió disminuir los tiempos de cambio de herramental en los equipos seleccionados para el proyecto.

SMED es la metodología mas aplicada en los procesos de reducción de tiempos de cambio de herramental, modelos y productos por su facilidad de uso. Antes del desarrollo de este proyecto, no se había utilizado esta metodología en ninguno de los procesos de la planta.

Haber logrado los resultados obtenidos, fue consecuencia de la participación y el empeño de cada una de las personas que participaron en el. Como toda herramienta de manufactura esbelta, es importante contar con el soporte y los recursos necesarios para su implementación. El involucramiento de cada una de las personas de producción, ingenieros y gerentes fue clave en el logro de los objetivos.

5.2 Recomendaciones

El mayor reto de implementar SMED es el sostener las mejoras. El cambio cultural es un factor clave, por lo que es importante, involucrar a todo el personal y concientizarlos sobre los beneficios del uso de este tipo de metodologías.

Por otro lado, la reducción de los tiempos de cambio de herramental permite incrementar la flexibilidad de un equipo y disminuir el tamaño de los lotes, haciendo posible con ello la disminución de los inventarios en proceso y producto terminado. Todas estas mejoras permiten dar a la empresa una respuesta más rápida a los clientes y son factores importantes para ser un fabricante de clase mundial.

Se recomienda evaluar la factibilidad de implementar SMED en los demás procesos de la planta.

5.3 Trabajos Futuros

Se buscará replicar los resultados obtenidos en las demás áreas de la empresa, que cuenten con procesos similares y se utilizará este documento como guía para desarrollarlo de la misma forma.

6. REFERENCIAS

Adis, T. (2014) 'Sustainable Cost Reduction By Lean Management In Metallurgical Processes', *Metalurgija*, 55(4), pp. 846–848.

Álvarez-García, J., Durán-Sánchez, C. & Del Río-Rama, M., 2018. Systematic bibliometric analysis on Kaizen in scientific journals. *The TQM Journal*, 30(4), pp. 356–370.

Antoniolli, I. *et al.* (2017) 'Standardization and optimization of an automotive components production line', *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 13, pp. 1120–1127. doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.173.

Arunagiri, P. and Babu, A. G. (2013) 'Review on Reduction of Delay in manufacturing process using Lean six sigma (LSS) systems', *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(2), pp. 1–4. doi: 10.13140/2.1.1958.4640.

Ateortua Tapias, Y. A. (2015) 'KAIZEN : UN CASO DE ESTUDIO', (45), pp. 59–64.

Benders, J., Bal, M. & Vermeerbergen, L., 2019. Structure Please; Continuous Improvement and Employee Consequences in a Dynamic Task Environment. *Sustainability*, 11(5564), pp. 1-13.

Buer, S.-V., Semini, M., Strandhagen, J. O. & Sgarbossa, F., 2020. The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. *International Journal of Production Research*, Issue DOI: 10.1080/00207543.2020.1790684, pp. 7-16.

Cavazos-Arroyo, J., Máñez-Guaderrama, A. & Valles-Monge, L., 2018. Kaizen Events: an Assessment of their Impact on the Socio-Technical System of a Mexican Company. *Ing. Univ. Eng. for Dev.*, Volumen 22, pp. 97-115.

Choomlucksana, J., Ongsaranakorn, M. and Suksabai, P. (2015) 'Improving the Productivity of Sheet Metal Stamping Subassembly Area Using the Application of Lean Manufacturing Principles', *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 2(February), pp.

102–107. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.090.

Costa, E. *et al.* (2013) 'An industrial application of the SMED methodology and other lean production tools', *4th International Conference on Integrity, Reliability and Failure of Mechanical Systems*, 1(1), pp. 1–8. doi: 10.13140/2.1.2099.5525.

Cox, C. (2015) 'Lean Manufacturing: An Analysis of Process Improvement Techniques', *Franklin Business & Law Journal*, 1(2), pp. 1–9.

D., N. *et al.* (2010) 'Applying the Lean principles of the Toyota Production System to reduce wait times in the emergency department', *Canadian Journal of Emergency Medicine*, 12(1), pp. 50–57. Available at: http://www.cjem-online.ca/sites/default/files/pg50_0.pdf%5Cnhttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed9&NEWS=N&AN=2011137776.

Duran, C., Cetindere, A. and Aksu, Y. E. (2015) 'Productivity Improvement by Work and Time Study Technique for Earth Energy-glass Manufacturing Company', *Procedia Economics and Finance*. Elsevier B.V., 26(15), pp. 109–113. doi: 10.1016/s2212-5671(15)00887-4.

Ejecutivo, R. (2011) 'Casos de Éxito – SMED', *Productivity La*, 01(81).

Espin Carbonell, F. (2013) 'Técnica SMED. Reducción del tiempo preparación', *3c Tecnología*, 2(2), p. 2.

Fallas-Valverde, P., Quesada, H. J. & Madrigal-Sánchez, J., 2018. Implementación de principios de manufactura esbelta a actividades logísticas: un caso de estudio en la industria maderera. *Tecnología en Marcha*, Volumen 31-3, pp. 52 - 65.

Favela Herrera, M. K. I., Escobedo Portillo, M. T., Romero López, R. & Hernández Gómez, J. A., 2019. Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización: modelo conceptual propuesto. *Revista Lasallista de Investigación*, 16(DOI:10.22507), pp. 115-133.

Ferradás, P. G. and Salonitis, K. (2013) 'Improving changeover time: A tailored SMED

- approach for welding cells', *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., 7, pp. 598–603. doi: 10.1016/j.procir.2013.06.039.
- Gollan, P. *et al.* (2015) 'Lean manufacturing as a high-performance work system : the case of Cochlear', *International Journal of Production Research*, 52(2), pp. 6434–6447. doi: 10.1080/00207543.2014.940430.
- Hernández Sampieri, R. and Mendoza Torres, C., 2016. Metodología de la investigación. 6th ed. Ciudad de México: McGraw Hill Education, p.4.
- Jurburg, D. *et al.* (2015) 'sistemas de mejora continua', 13, pp. 17–33.
- Kulkarni, P. P. (2015) 'Productivity Improvement Through Lean Deployment & Work Study Methods', *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(02), pp. 429–434. doi: 10.15623/ijret.2014.0302076.
- Kumar, P. and Kajal, S. (2015) 'Implementation of Lean Manufacturing in a Small-Scale Industry', *Iup*.
- Leksic, I., Stefanic, N. & Veza, I., 2020. The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), pp. 81 - 92.
- Li, J. S. (2013) 'Continuous Improvement at Toyota Manufacturing Plant: Applications of Production Systems Engineering Methods', *International Journal of Production Research*, 51(23–24), pp. 7235–7249. doi: 10.1080/00207543.2012.753166.
- Miller, G. *et al.* (2013) 'A case study of lean and sustainable manufacturing', *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(1), pp. 11–32. doi: 10.3926/jiem.2010.v3n1.p11-32.
- Modi, D. B. and Thakkar, H. (2014) 'Lean Thinking: Reduction of Waste, Lead Time, Cost through Lean Manufacturing Tools and Technique', *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 9001(3), pp. 339–344. Available at: www.ijetae.com.

- Mostafa, S., Dumrak, J. and Soltan, H. (2013) 'A framework for lean manufacturing implementation', *Production and Manufacturing Research*. Taylor & Francis, 1(1), pp. 44–64. doi: 10.1080/21693277.2013.862159.
- Nguyen, D. (2015) 'A New Application Model of Lean Management in Small and Medium Sized Enterprises', *International Journal of Simulation Model*, 14(2), pp. 289–298. doi: 10.2507/IJSIMM14(2)9.304.
- Paladugu, B. S. & Grau, D., 2020. Toyota Production System - Monitoring Construction Work Progress With Lean Principles. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, Volumen 5, pp. 560 - 565.
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M. and Esa, M. M. (2014) 'Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation', *Procedia Economics and Finance*. Elsevier B.V., 7(Icebr), pp. 174–180. doi: 10.1016/s2212-5671(13)00232-3.
- Rocha, H. T., Ferreira, L. P. and Silva, F. J. G. (2018) 'Analysis and Improvement of Processes in the Jewelry Industry', *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 17, pp. 640–646. doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.110.
- Rodríguez-Méndez, R. *et al.* (2015) 'A case study: SMED & JIT methodologies to develop continuous flow of stamped parts into AC disconnect assembly line in Schneider Electric Tlaxcala Plant.', *IFAC-PapersOnLine*, 28(3), pp. 1399–1404. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.282.
- Rosa, C. *et al.* (2017) 'SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry', *Procedia Manufacturing*. Elsevier B.V., 13, pp. 1034–1042. doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.110.
- Sahoo, S. and Yadav, S. (2018) 'Lean implementation in small- and medium-sized enterprises: An empirical study of Indian manufacturing firms', *Benchmarking*, 25(4), pp. 1121–1147. doi: 10.1108/BIJ-02-2017-0033.

- Álvarez-García, J., Durán-Sánchez, C. & Del Río-Rama, M., 2018. Systematic bibliometric analysis on Kaizen in scientific journals. *The TQM Journal*, 30(4), pp. 356-370.
- Sanchez-Ruiz, L. & Blanco, B., 2019. Survey dataset on reasons why companies decide to implement continuous improvement. *Elsevier*, 26(104523), pp. 1-7.
- Singh, S. & Kumar, K., 2019. Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008-2018). *Ain Shams Engineering Journal*, Volumen 11, pp. 465 - 471.
- Suárez-barraza, M. F. (2011) 'Encontrando al Kaizen : Un análisis teórico de la Mejora Continua', 7, pp. 285–311.
- Sundar, R., Balaji, A. N. and Satheesh Kumar, R. M. (2014) 'A review on lean manufacturing implementation techniques', *Procedia Engineering*, 97, pp. 1875–1885. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.341.
- Taggart, P. and Kienhöfer, F. (2013) 'The effectiveness of lean manufacturing audits in measuring operational performance improvements', *South African Journal of Industrial Engineering*, 24(8), pp. 140–154. doi: 10.7166/24-2-749.
- Teich, S. T. and Faddoul, F. F. (2013) 'General Motors; ROI, return on investment; SODM, School of Dental Medicine; TMC, Toyota Motor Company; TPS, Toyota Production System; VMMC, Virginia Mason Medical Center', *Rambam Maimonides Medical Journal Abbreviations: CODA, Commission on Dental Accreditation*, 4(2), p. 7. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3678835/pdf/rmmj-4-2-e0007.pdf>.
- Thun, Jörn-Henrik *et al.* (2010) 'Empowering Kanban through TPS-principles – an empirical analysis of the Toyota Production System', *International Journal of Production Research*, 4823(23), pp. 7089–7106. doi: 10.1080/00207540903436695.
- Vienazindiene, M. and Ciarniene, R. (2013) 'Lean Manufacturing Implementation and Progress Measurement.', *Economics & Management*, 18(2), pp. 366–373.

Zarbo, R. J., Copeland, J. R. and Varney, R. C. (2017) 'Key management subsystem driver of knowledge-based continuous improvement in the Henry Ford Production System', *American Journal of Clinical Pathology*, 148(4), pp. 354–367. doi: 10.1093/AJCP/AQX084.