

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MANUFACTURA



TITULO DEL INFORME TÉCNICO

REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE CAMBIO EN UN PROCESO DE GABINETES

REPORTE FINAL

Área: Ciencias de la Ingeniería
LGAC: Mejoramiento Continuo

AUTORES DEL INFORME TÉCNICO:

M.I. Edith Aguilar García

Dr. Roberto Romero López

Dr. Luis Asunción Pérez Domínguez

M.C. Patricia C. Parroquín Amaya

Coordinación de Investigación y Posgrado del Instituto de Ingeniería y Tecnología

CD. JUÁREZ, CHIH.

DICIEMBRE DE 2019

Cd. Juarez, Chihuahua a 06 de diciembre de 2019.

DR. ROBERTO ROMERO LOPEZ
COORDINADOR DE LA MAESTRIA
EN INGENIERIA INDUSTRIAL
Presente.-

Por medio de la presente se hace constar que la **C. Edith Aguilar García**, con matrícula **144716**, alumna del Programa de la Maestría en Ingeniería Industrial de la UACJ realizó en esta empresa una estancia industrial para la elaboración del proyecto: **Reducción de los Tiempos de Cambio de Modelo en un Proceso de Gabinetes**, con la asesoría del **Dr. Roberto Romero López** en un periodo comprendido del **16 de octubre del 2019 al 15 de noviembre del 2019**.

Se extiende la presente para los fines que al interesado convenga. Agradeciendo de antemano la atención a la presente, queda de usted


Lic. Yamnel Giner Jimenez
Gerente de Recursos Humanos

Key Tronic Juarez, S.A. de C.V.
R.F.C. KTJ-931117-955
MAGNETO # 950 • C.P. 32380
PARQUE INDUSTRIAL GEMA
CD. JUAREZ, CHIH.
TEL. 629-2100

Resumen

Actualmente las empresas trabajan en base a un sistema de manufactura esbelta tradicional, en el cual los cambios de modelo son realizados con falta de estandarización de los procesos. Esto ha dado como resultado desarrollar la herramienta de Manufactura Esbelta conocida como SMED, que entre sus objetivos está el de reducir los tiempos invertidos en los cambios de modelo.

En este proyecto, se aplica la metodología SMED a un proceso de ensamble de gabinetes, con la finalidad de incrementar el porcentaje de productividad con el cumplimiento del plan de producción en una línea de ensamble de gabinetes.

Con base a los resultados de esta investigación, se obtuvo una reducción en el tiempo de las actividades externas de 3774 segundos de un total de 7317, lo que es una reducción del 49% del tiempo de preparación.

Antecedentes

Las empresas hoy en día afrontan el reto de mejorar sus sistemas internos, así como su competitividad, con el propósito de tener mayor participación en el mercado. Para lograr esto se han planteado, e implementado estrategias de Manufactura Esbelta las cuales permiten controlar y balancear el flujo de los productos, a través de mejoras de la calidad y de las entregas a tiempo, reducción de costos, velocidad de entrega, mejoras en el tiempo de ciclo e incremento de la productividad.

Uno de los propósitos de las empresas es el de implementar herramientas de mejora continua para producir y entregar los productos terminados justo a tiempo, así como el producir subensambles los cuales estén listos para que sean utilizados para un producto final y materiales comprados justo a tiempo para que sean enviados a las líneas de producción con el objetivo de que sean transformados en productos finales

Al implementar las herramientas de Manufactura Esbelta en los procesos de producción para eliminar los desperdicios dentro de las líneas de ensamble no solo ayudan a mejorar el proceso, sino que con el tiempo esta implementación ayuda a reducir los costos de la compañía ya que el objetivo es implementar el mejoramiento continuo que permita reducir los costos, reducir los cambios de modelo, mejorar y renovar los procesos y eliminar los desperdicios, en busca de la satisfacción del cliente.

Los siguientes desperdicios son los que se encuentran presentes en los procesos de producción:

1. Defectos: las fallas en la calidad del producto originan retrabajos, rechazos y pérdida de materia prima.
2. Espera: este desperdicio es causado por la baja confiabilidad de las maquinas o puede ser ocasionada por cargas de trabajo desbalanceadas.
3. Movimientos: movimientos físicos que el personal realiza en exceso debido a un mal diseño de la planta.
4. Inventarios: exceso de material acumulado entre estaciones causado por partes que esperan ser procesadas.
5. Transportación: transporte de materiales que agrega costo y riesgo a la operación.

6. Retrabajo: producto defectuoso que se necesita reparar para poder clasificarlo como producto bueno.
7. Sobreproducción: se refiere a producir de más, más rápido o antes de que sea necesario.
8. Talento: no utilizar eficientemente las habilidades del personal.

Manufactura Esbelta como herramienta de mejora continua aporta el conocimiento necesario para eliminar los desperdicios que se encuentran presentes en los procesos, en base a la aplicación la reducción es un hecho, ya que ataca la causa raíz que los está originando, utilizando las distintas herramientas se pueden eliminar los desperdicios, con el objetivo de incrementar la productividad y reducir los tiempos de entrega.

1.1 Descripción del problema.

El proceso de producción dedicado a la fabricación de gabinetes el cual se muestra en la Figura 1.1 consta de las siguientes operaciones: la primer área es la de torretas, en la que se lleva el proceso de corte o punzonado de las láminas, posteriormente se realiza el proceso en el que las piezas son desprendidas de dichas láminas de metal, para posteriormente pasar al proceso de Doblado, en el cual por medio de prensas dobladoras (AMADA o FINN POWER) se procede a realizar los dobleces según los requerimientos que se tengan, después del proceso de doblado el siguiente paso es el Inserción en el cual se insertan diferentes tipos de tornillerías, como paso siguiente es el de la unión de piezas mediante el proceso de Soldadura y como paso consecutivo se envían las partes a área de ensamble, al llegar a esta área como productos salen piezas armadas las cuales son enviadas a área de Pintura, después de que los materiales han sido pintados se envían a la línea final para armar los gabinetes.

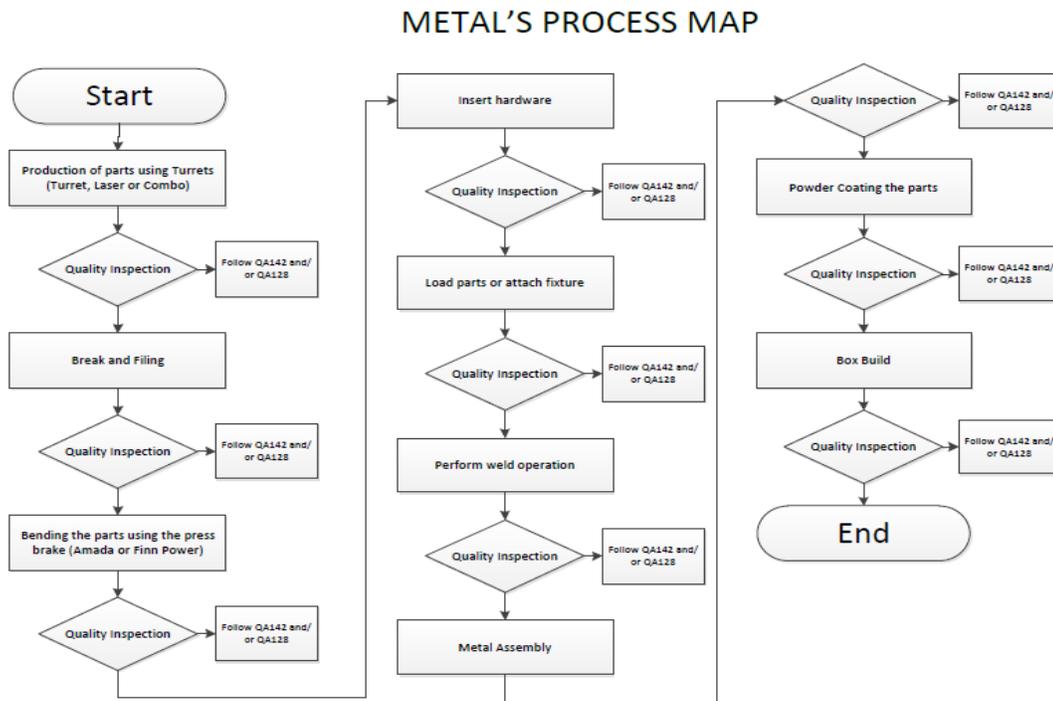


Figura 1.1 Mapa del proceso del área de metales.

Las siguientes fotografías muestran cada una de las áreas de las que están conformado el proceso para el armado de los gabinetes.



Figura 1.2 Área de Torretas.



Figura 1.3 Área de Doblado.



Figura 1.4 Área de Inserción.



Figura 1.5 Área de Soldadura.



Figura 1.6 Área de Subensambles.



Figura 1.7 Área de Pintura.



Figura 1.8 Área de Ensamble Final.

Como se observa en la Figura 1.1 específicamente en el área de torretas se han registrado tiempos de cambios de modelo elevados los cuales están originando que no se cumpla con la productividad, como evidencia de estos tiempos, en la Tabla 1.1 se pueden observar los tiempos muertos registrados durante todo el mes de Agosto.

Tabla 1.1 Registro de Tiempos Muertos.

Razón	Tiempo muerto (min)
Producción	33806
Cambios de modelo	2362
Materiales	1964
Ingeniería	1096
Herramientas	887
Ajustes de proceso	863
Mantenimiento	738
Sin programa	180
En espera de aprobación de Calidad	151
Documentos	90
Miscelaneos	80
Total	42217

A partir de la Tabla 1.1 se obtiene como resultado la Figura 1.2 la cual muestra gráficamente el comportamiento de los tiempos muertos. Mediante esta gráfica se puede observar que los tiempos de cambio de modelo es uno de los mayores contribuyentes de tiempos muertos, los cuales afectan para el cumplimiento de la productividad.



Figura 1.2 Grafica Tiempo Muerto del área de Torretas

1.2 Objetivo General

Reducir los tiempos de cambio de modelo en el área de Torretas en un 70% para aumentar la productividad.

1.3 Hipótesis

La presente investigación propone utilizar la herramienta de manufactura esbelta SMED con el propósito de aumentar la productividad. Mediante la implementación de la técnica de la herramienta de manufactura esbelta conocida como SMED se lograra la disminución de los errores en los procesos, ejecución y ajuste durante el cambio de herramental, disminuyendo con esto, los tiempos invertidos para realizar dichos cambios en el área de torretas, la cual es una de las áreas que mayores tiempos muertos presenta, como consecuencia de la disminución de los tiempos de cambios de modelo la principal mejora será el aumento de la productividad en el área.

1.4 Justificación

La implementación de la herramienta de SMED la cual pertenece a la metodología de Manufactura Esbelta es importante en distintas áreas ya que emplea las diferentes fases para reducir los tiempos de cambio de modelo, algunos beneficios que se logran al implementar dicha herramienta son los siguientes: Reducción de los costos de producción, reducción de inventarios, reducción de tiempos de entrega, mejora de la calidad, mayor eficiencia.

A través de llevar a cabo cambios de modelo con tiempos mínimos utilizando métodos de trabajo estandarizados se pueden llegar a reducir hasta en un 50% los tiempos que se tienen sin aplicar el SMED o el trabajo estandarizado aunado a estas mejoras se pueden implementar pokayokes para con ellos facilitar las operaciones convirtiendo la mayor cantidad de operaciones internas a externas con estos cambios se puede lograr la reducción de un 70% de los tiempos muertos por cambios de modelos.

La mejora de la productividad en los procesos de producción se puede lograr mediante la reducción de los cambios de modelo ya que estos son uno de los principales factores que contribuyen a que las metas no se alcancen, los resultados de dicha implementación son centrados en buscar la causa raíz de los tiempos elevados

1.5 Alcances y Limitaciones

Este proyecto tiene como alcance específicamente en el área de torretas dado que es el área en la cual se tiene acceso a la información y a los procesos para la realización del proyecto, aunque la Figura 1.1 muestra que el tiempo muerto mayor a la categoría de producción, para los objetivos de este proyecto se enfocara en el segundo contribuyente el cual es los tiempos muertos debidos a los cambios de modelo, ya que el mayor contribuyente es un área restringida principalmente en los ámbitos económicos ya que para reducir estos tiempos es necesario la participación de las altas gerencias así como inversiones económicas considerables y debido al tiempo con el que se cuenta seria riesgoso enfocarse en este problema.

CAPITULO 2

REVISION DE CONCEPTOS Y LITERATURA

2.1 Introducción.

A continuación, se muestra la literatura actual relacionada con la aplicación de Manufactura Esbelta. La información se organizará de tal forma que se resalten los beneficios que se obtienen al implementar las diferentes herramientas de la metodología de Manufactura Esbelta. La información está organizada en dos partes, de tal forma que en la primera sección del capítulo se encuentra la literatura en la que los diferentes autores resaltan los beneficios que se obtienen al implementar las diferentes herramientas de Manufactura Esbelta.

La segunda parte está integrada por la literatura en la cual se propone el uso de la herramienta SMED.

Esto con el objetivo de visualizar las ventajas y desventajas de cada una de las herramientas, ya que Manufactura Esbelta es una filosofía la cual tiene como objetivo el de eliminar los desperdicios presentes en los procesos y la técnica de SMED es una herramienta utilizada para disminuir los tiempos muertos debidos a los cambios de modelo.

2.2 Aplicación de las herramientas de Manufactura Esbelta.

(Hernández, 2013) Propone utilizar diferentes técnicas de la filosofía de Manufactura Esbelta, esto con el objetivo de mejorar la eficiencia de la planta a través de la implementación de distintas herramientas, el proceso de producción es evaluado para conocer las condiciones actuales, el problema que se presenta es una baja eficiencia, así como la detección de los desperdicios presentes en el proceso.

Las herramientas empleadas son las siguientes, las cuales permiten desarrollar mejora continua en el proceso:

- La hoja estándar de las operaciones.
- Estandarización de los procesos.

- Implementación de la herramienta TPM para las maquinas, así como la implementación de Mantenimiento Preventivo.
- Solución de técnicas, control visual y poka-yokes
- Evolución hacia un sistema de pull.

Gracias a la implementación de las herramientas anteriores en la empresa productora de alimentos precocinados se obtuvieron las siguientes mejoras: incremento de eficiencias mayores al 10%, incremento de la productividad mayores al 15% y 60% de disminución de desperdicios.

(Ucar & Tunkay, 2017) Decide utilizar la filosofía de manufactura esbelta para la mejora de la logística de la planta Bosh Siemens Home Appliances Group, las herramientas que se implementan son las de mejorar el funcionamiento del supermercado, con el diseño del Kanban se obtienen los siguientes beneficios: se reduce de 31 minutos de tiempo de ciclo a 24 minutos de tiempo de ciclo, reducción de inventarios en un 49% es decir 149 piezas por estante solo se permiten 76.

(Shankar, 2015) propone una investigación en una empresa de líneas de forjado radial, el objetivo principal es desarrollar y comprobar estrategias para eliminar desperdicios. Como primer paso se utiliza la herramienta de Mapeo de Flujo de Valor para conocer los estados actuales y futuros del proceso, se construyen los mapas para identificar las oportunidades de mejora a las cuales se le aplica un diseño de experimento Taguchi, para minimizar los defectos producidos por la ineficiencias del diseño de las estaciones como resultado se obtiene que el tiempo de producción de 325 minutos se reduce a 136 minutos, es decir un 48% de reducción, de igual manera se eliminan actividades que no agregan valor al producto en un 58.15% y por último la productividad se incrementa en un 40%.

(Villalobos, 2016) Propone utilizar las herramientas de Lean Manufacturing tales como: el Mapeo de Flujo de Valor, Diagramas de Ishikawa, herramientas para la detección de mudas, estas herramientas se aplican en una empresa manufacturera dedicada a la fabricación de colchones, la primera etapa consiste en integrar el equipo, la segunda etapa se utiliza para conocer al cliente la tercera etapa es la elaboración del VSM así como la elaboración de diagramas de espagueti para determinar el flujo de las estaciones, en la cuarta etapa se identifican las mudas utilizando el diagrama de pescado y la última etapa es la de

implementar la producción celular para unir los procesos por lo tanto los resultado obtenido es el incremento del 20% de la capacidad, es decir, 2760 piezas terminadas.

(Hernandez , 2015) quien presenta los efectos de la productividad, la calidad y la seguridad industrial al implementar la herramienta de 5's la cual se aplica en las instalaciones de la empresa de Caucho Metal LTD.

Mediante la capacitación de los empleados se desarrollan las 5's de la siguiente manera:

- Seiri: se procede a colocar una tarjeta de color roja en los elementos que no son necesarios en el proceso, esto con el propósito de identificar los artículos esenciales de los no esenciales.
- Seiton: la clasificación de los artículos de las estaciones fue según la frecuencia de uso se les asigna un número y quedan de la siguiente manera:
 1. Con frecuencia.
 2. Ocasionalmente.
 3. Artículos raramente usados.
- Seiso: en este paso se procede a implementar e inculcar la limpieza como habito en todos los niveles de la organización. Los días de limpieza son planeados y organizados para limpiar e inspeccionar cada una de las estaciones con una frecuencia diaria, para limpiar el área de trabajo completamente se planea que sea por semana y para cada máquina y estantería el periodo será de una vez por mes.
- Seiketsu: en esta etapa se estandariza todo el proceso, se utiliza el control visual, tales como portar etiquetas y asignar responsabilidades.
- Shitsuke: se generan ayudas visuales para proporcionar orientación a los empleados sobre la necesidad el orden y la limpieza, y como último paso se realizan auditorias constantemente.

Como resultado de la implementación de esta herramienta de manufactura esbelta se obtiene un incremento en la productividad de recursos humanos de un 39% actual a un 79% con las mejoras implementadas. El incremento de la productividad de energía de un 30% a un 93% y un incremento de la productividad de capital de un 28% a un 58% respectivamente, las

piezas retrabajadas se reducen de un 62% a un 13% y los desperdicios o piezas defectuosas de un 82% a un 9.94%.

(Das, 2017) quien presenta la implementación de la Filosofía de Manufactura Esbelta para mejorar la productividad en el proceso de fabricación de bobinas de aire acondicionado, esto con el propósito de incrementar la productividad utilizando las diferentes herramientas de Manufactura Esbelta tales como: Mapeo de Flujo de Valor, SMED, y Kaizen. El proceso a mejorar es en el área de fabricación de bobinas al implementar las herramientas antes mencionadas se logra mejorar la producción en un 77%, es decir, de 121 bobinas producidas se incrementa a 214. La herramienta SMED y Kaizen se utilizan para reducir el tiempo de cambio de modelo en la máquina de embobinado de 60 minutos a solo 20 minutos, es decir una mejora del 67%. La herramienta Kaizen logra cambiar y diseñar el método de trabajo, así como simplificar el procedimiento del cambio de modelo. Otros de los logros es la reducción de los inventarios y la eficiente utilización del espacio dando como resultado una nueva distribución de la planta, esto a su vez reduce los daños en las bobinas debido a los transportes y movimientos.

(Dokuz, 2016) Muestra la aplicación de manufactura esbelta en un proyecto realizado en una empresa dedicada a la producción de películas flexibles PVC, se desarrollan herramientas de manufactura esbelta debido a que presentan un incremento de la demanda pero a la vez se presenta una disminución de en el métrico de la productividad, se procede a analizar y calcular el Takt time y el tiempo de ciclo dando como resultado que en el área de corte existe una diferencia ya que el tiempo de ciclo es mayor al takt time esto desencadena que se tengan estaciones las cuales están generando cuellos de botellas debido a los tiempos de ciclo no balanceados debido a esto se están requiriendo 4 horas de tiempo extra al día, esta situación disminuye la productividad y aumenta el costo del producto. Mediante la aplicación de la herramienta kaizen se determina que los principales desperdicios son los transportes y movimientos, la razón es que la distribución de la planta no es la ideal ya que el área de corte está dividida del área de envíos, la solución es comunicar ambas áreas y reducir el tiempo de transporte que es de 30.4% a solo 4.9%. Antes de comunicar las áreas el transporte requería de 25 segundos por pieza y después de la mejora solo toma 3 segundos por pieza, lo que representa que se reduce el tiempo de 31.25 segundos a 3.75 segundos. El tiempo de ciclo

del área de corte se redujo de 16.60 segundos a 12.20 segundos, con estas mejoras se logra reducir la disminución del requerimiento de tiempo extra.

(Lung, 2017) Quien presenta un sistema de manufactura celular donde las maquinas se agrupan en varias células y en donde cada célula se dedica a una familia de productos, el objetivo es maximizar cada célula de trabajo de manera independiente.

La metodología de manufactura esbelta tiene como objetivo reducir el manejo de los materiales, trabajo en proceso, el tiempo de preparación de las maquinas, disminuir el tiempo de espera y mejorar la productividad, para lograr esto se establece el takt time, balanceo de las líneas, proponer una metodología del diseño celular en una compañía de componentes de municiones, el flujo de las células fue optimizado minimizando las actividades que no agregan valor tales como: los cuellos de botella, el tiempo de espera y el manejo de los materiales. Al implementar las herramientas se obtienen resultados del 30% del valor agregado en el proceso aumenta en un 54% esto se debe a la disminución de los desperdicios que estaban presentes en el proceso.

En una empresa de origen Australiano fabricante de dispositivos médicos se implementan los principios los Cuale son: flujo de una sola pieza, trabajar en base al takt time y usar el sistema de producción de jalar en lugar al sistema de empuje, se obtiene que se incrementa la producción diaria de 35 dispositivos a 150 dispositivos, es decir la producción aumenta en un 95% y el rendimiento se cuantifica en un incremento de 67% a un 87% (Gollan, Kalfa, & Agarwal, 2014).

(Alvarez & Calvo, 2015) Mediante la metodología propuesta en el rediseño de una línea de montaje está basada en la mejora continua, como primer instancia se elabora el mapeo de flujo de valor para determinar la situación actual y la identificación de las mejoras en cada una de las estaciones después de determinar los estados del proceso se procede a implementar la herramienta kanban esto con el propósito de reducir los inventarios y mejorar los tiempos de entrega, después de la aplicación de la metodología se obtiene que como resultado logra la reducción de los inventarios en un 30%, se eliminan las 10.9 horas de tiempo improductivo y por último se reduce el lead time 19.75 días a 17.1 días.

(Maldonado D. , 2014) Describe uno de los principales resultados alcanzados al llevar a cabo la metodología de Manufactura Esbelta llevada a cabo en un proceso de ensamble, en primer lugar, se logra el aumento de la agilidad para responder a las necesidades del mercado, el sistema redujo el tiempo de ciclo de desarrollo de nuevos productos de 3 meses en promedio a tan solo 20 días permitiendo responder de manera rápida y pertinente a las necesidades del mercado.

(Abdulmalek, 2016) durante el desarrollo de la implementación de las herramientas de Manufactura Esbelta en un proceso de producción industrial, esta metodología se centra en buscar y detectar las distintas fuentes de desperdicio para luego utilizar las herramientas tales como: Justo a tiempo, reducción de los cambios de modelo, células de manufactura, kanban mantenimiento productivo total, mapeo de flujo de valor y 5's. los resultados indican que el uso de estas herramientas se reduce el tiempo de producción de 48 días a solo 15 días una reducción de casi el 70%.

(Ng, 2015) La empresa Hotel-Dieu Hospital, inicio con la aplicación de los principios de manufactura esbelta, estos principios fueron utilizados para mejorar los tiempos de espera y la calidad de atención al cliente, para esto se utilizan las técnicas tales como el mapeo de flujo de valor, justo a tiempo, organización de las áreas de trabajo, dando todo esto como resultado la reducción del tiempo de ciclo de 111 minutos a 78 minutos el número de pacientes no atendidos se redujo de un 7.4% a 4.3 %.

En base a todos los datos proporcionados se observa la situación actual de las empresas. Se documentan los desperdicios presentes durante los procesos de producción, así como las actividades que agregan y que no agregan valor al producto. Se estudia el concepto de Manufactura Esbelta, así como las diferentes herramientas que se utilizan para combatir los problemas que se presentan durante todo el proceso, esto con el objetivo de incrementar los métricos de las empresas ya que se hace mención de los beneficios que se obtienen al implementar Manufactura Esbelta en las empresas por ejemplo; aumento de la productividad, mejoras en los tiempos de entrega, aumento en la eficiencia, reducción de inventarios y por supuesto la reducción de defectos y costos.

2.3 Aplicación de la metodología SMED

(Kusar, 2016) en este estudio se basa en la implementación de la herramienta de manufactura esbelta SMED la cual se utiliza para reducir el tiempo de cambio de modelo por inyección KM 800, se basa en el trabajo en equipo para lograr implementar SMED el cual permite la reducción de los tiempos de cambio de modelo al menos en 10 minutos, los pasos que se siguen para llevar a cabo la implementación son los siguientes:

1. Selección de la maquina: se selecciona la máquina cuyos tiempos de cambio de modelo son los más largos y por lo tanto es la que representa el cuello de botella en el proceso.
2. Definición del objetivo: el equipo debe de reducir el tiempo de cambio de modelo en un 50% del tiempo actual. Recientemente el cambio de modelo tiene un tiempo total de 119.97 minutos y el objetivo es que el cambio se logre en 60 minutos.
3. Seleccionar los miembros del equipo: se seleccionan las personas que integran el equipo para desarrollar el proyecto, para este caso 8 son las personas que colaboraran.
4. Documentar elementos y microelementos del cambio de modelo: tomar los tiempos exactos del cambio de modelo y realizar el diagrama de espagueti para identificar y analizar los movimientos que se realizan para efectuar el cambio.
5. Análisis de los elementos y micro elementos de la maquina: consiste en separar las actividades internas y externas y por ultimo mejorar las actividades externas.

Los resultados obtenidos al implementar la herramienta de manufactura esbelta es la reducción de los microelementos del cambio de modelo de la máquina de 119.97 minutos a 43.77 minutos, es decir, se reduce un 63% del tiempo total del cambio de modelo.

(Liang, 2017) quien presenta un estudio en una empresa de tablillas para reducir el tiempo de cambio de modelo mediante la implementación de lean seis sigma utilizando el ciclo DMAIC.

En la fase de Definir se establece que el tiempo total de cambio de modelo es de 158.2 horas, esto se establece mediante la utilización del Project Charter y los factores críticos de calidad.

En la fase de Analizar el objetivo es el de elaborar e implementar el mapeo de flujo de valor y la matriz de causa y efecto.

En la fase de Mejorar se establece la herramienta de manufactura esbelta para reducir el tiempo de cambio de modelo la cual es el SMED.

En la fase de control se establece el plan para mantener controlado el proceso y de esta manera garantizar que las mejoras implementadas sigan funcionando.

Como resultado se obtiene que al implementar lean seis sigma se logra reducir de 39.23 minutos a 19.44 minutos lo cual representa el 66.77% de la tasa de utilización de la producción. El tiempo de búsqueda de herramientas se reduce de 4.73 minutos a tan solo 1.53 minutos, con las mejoras implementadas la empresa es capaz de producir 22,500 piezas.

(Ortíz, 2010) indica que uno de los desperdicios mayores lo representan los tiempos destinados a los cambios de modelo, el Ingeniero Shigeo Shingo de Toyota desarrollo una técnica exitosa conocida como SMED la cual tiene como objetivo el reducir los tiempos de cambios en minutos a un solo dígito, estos tiempos representan el tiempo desde que se deja de producir el último producto A hasta el momento que se obtiene el primer producto B el cual debe de cumplir con los requerimientos de calidad, para llevar a cabo la metodología SMED se incluyen las siguientes fases:

1. Recopilar la información necesaria para reducir los tiempos de cambio de modelo.
2. Separar operaciones internas en externas: las operaciones internas son aquellas que se deben de realizar cuando la maquina no esté en funcionamiento y las externas son aquellas se pueden realizar mientras la máquina está funcionando.
3. Convertir operaciones internas en externas: esta fase implica la transformación de las actividades realizadas con la maquina parada en una que pueda realizarse mientras la maquina esté funcionando.
4. Perfeccionar aspectos de la preparación: en esta fase se busca reducir o mejorar ambas actividades para lo que es necesario plantearse las siguientes preguntas: ¿Es necesaria la tarea?, ¿Puede eliminarse?, ¿Son apropiados los procedimientos actuales?, ¿Son difíciles?, ¿Puede cambiarse el orden de las tareas?, ¿pueden

hacerse de manera simultánea?, ¿es adecuado el número de personas?, ¿Cuál es la carga de trabajo de las personas?

Al llevar a cabo estas fases se obtiene como resultado el ahorro del tiempo en más de un 60% el cual tiene un gran impacto en el desempeño de la organización ya que el tiempo invertido en cambios de modelos ahora se puede aprovechar para realizar de forma efectiva la producción, es importante destacar que la participación del personal y el trabajo en equipo son indispensables para alcanzar las metas, esto se logra con el compromiso de los empleados.

En el estudio realizado por (Estrada, 2016) cuyo objetivo establecido es el de aumentar la productividad y disminuir al mismo tiempo los inventarios, se decide implementar la técnica de SMED para reducir los tiempos generados por los cambios y con esto lograr que la compañía farmacéutica pueda lograr reducir sus tamaños de lote, incrementar la productividad y satisfacer completamente las necesidades de los clientes, para lograr estos objetivos se siguen las fases de la técnica SMED, con el propósito de identificar problemas específicos que ocurran en las maquinas. A las conclusiones que se llegan son que a medida que se van implementado las fases el número de actividades que se deben de realizar es el mismo pero aquí la manera en que las están desarrollando determinan el ahorro total de 1.85 horas representando una disminución del 63.79% de esta manera se comprueba que la herramienta mencionada tiene múltiples beneficios.

(Espin, 2013) hace mención en su investigación los diferentes beneficios que pueden lograr las empresas al desarrollar la técnica SMED, los cuales se enlistan a continuación:

1. Se transforma el tiempo no productivo en tiempo productivo, que repercute en un incremento de la capacidad de producción y de la productividad de la planta.
2. Es posible la reducción del lote de producción, cuyas consecuencias son un incremento de la flexibilidad de la planta frente a los cambios de la demanda, una reducción del tiempo de entrega, disminución del inventario en proceso.

3. Se estandarizan los procedimientos de cambio de modelo, estableciendo métodos de trabajo cómodos y seguros, reduciendo de esta manera los defectos durante el proceso debidos a los ajustes

Después de implementar la técnica SMED en una empresa dedicada a la elaboración de embalajes de cartón ondulado (Del Vigo, 2016) obtiene los siguientes resultados, tras varios ajustes y adaptaciones del método, se consigue llegar a una solución óptima, con la que la reducción en los tiempos de los cambios obtenidos asciende en un 50% lo cual derivó en un incremento de disponibilidad de la máquina y por lo tanto un incremento del OEE en un 20%, iniciando con una producción mensual de 813 piezas mensuales y después de la implementación de la técnica se logró producir 1084 piezas mensuales es decir un incremento del 33% de la producción. Básicamente, aunque la técnica SMED surgió en el sector automotriz, al igual que toda la metodología lean, tiene aplicación prácticamente en cualquier sector industrial, como así se comprueba en este caso, que aun a pesar de que la empresa no es del sector automotriz, sin embargo, los logros alcanzados son considerablemente exitosos.

(Sacristan, 2013) indica en su investigación algunas de las claves que se necesitan establecer para lograr el éxito al implementar la herramienta SMED, las cuales son las siguientes por hacer mención a algunas:

1. Información adecuada sobre el método SMED.
2. Implicación de todos los departamentos de la empresa.
3. Establecer un equipo de trabajo multidisciplinar.
4. Impartir capacitación necesaria a los integrantes del equipo sobre lo que es la metodología SMED.
5. Establecer un programa de reuniones para el análisis y el seguimiento de los avances.
6. Analizar resultados.
7. Gestionar y conseguir las inversiones necesarias para llevar a cabo la metodología.
8. Trabajar con tenacidad para lograr los objetivos.

Mediante el seguimiento de estas claves se pueden obtener resultados satisfactorios en esta investigación se implementó el SMED seguido de las claves antes mencionas en una maquina rectificadora la cual es la que tiene el mayor tiempo de cambio de modelo con un total de 56

minutos, los resultados obtenidos son una mejora en la productividad la cual inicialmente se encontraba en 67% a un 71.5%.

CAPITULO 3

METODOLOGIA

3.1 Introducción.

La metodología a usar es la implementar la herramienta de Manufactura Esbelta conocida como cambios rápidos de modelos SMED, para eliminar los tiempos muertos reportados en las áreas de producción debido a los cambios de modelo, esto con el objetivo de incrementar la productividad. La Figura 3.1 muestra el diagrama de flujo de las fases que se desarrollaran para implementar la herramienta.

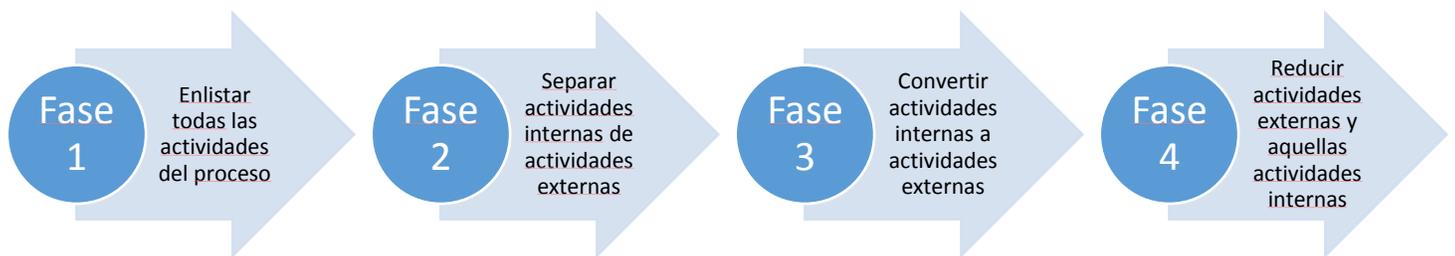


Figura 3.1 Fases de la metodología SMED.

El procedimiento para aplicar la herramienta SMED se muestra en la figura 3.2, en el cual se especifican las 4 fases a seguir durante la implementación.

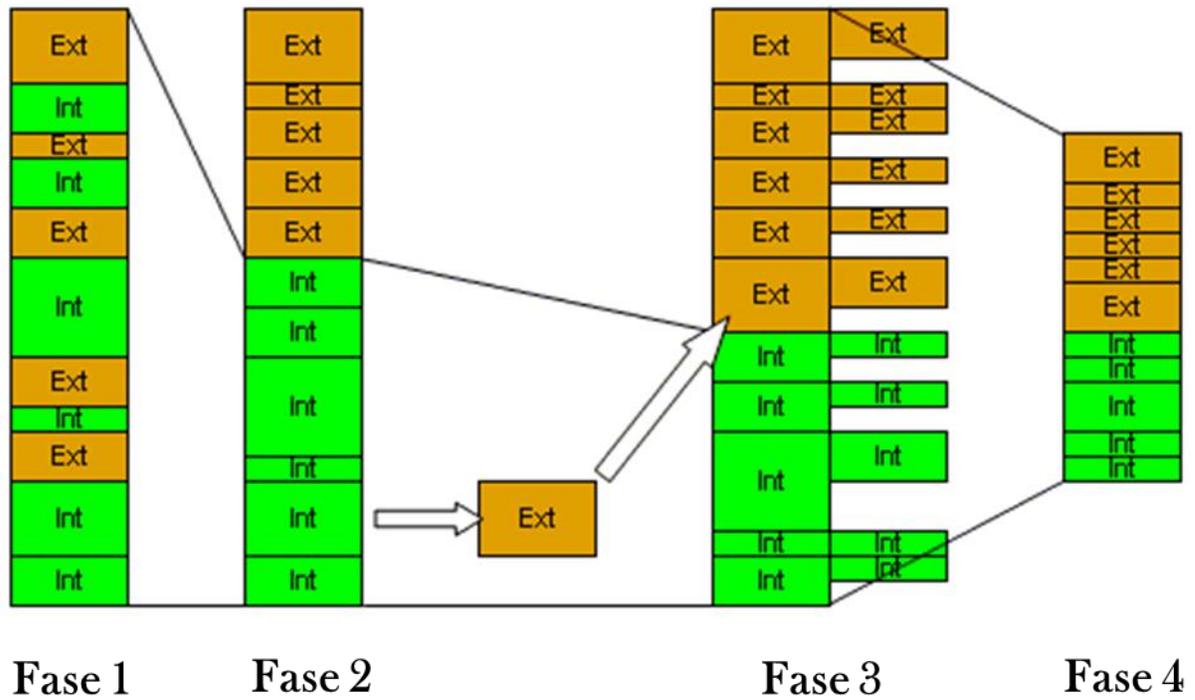


Figura 3.2 Procedimiento para aplicar SMED

3.2 Fase 1: Enlistar todas las actividades.

Durante esta Fase se registran todas las actividades con el tiempo de duración que tarda en realizar cada una de ellas. La Tabla 3.1 se utiliza para recabar la información.

Tabla 3.1 Actividades necesarias para realizar el cambio de modelo.

# de parte que sale:		# de parte que entra:		
Elaborado por:				Fecha:
No.	Descripción	Tiempo	# personas	Observaciones
1				
2				
3				
4				

Como paso siguiente en esta primera fase se realiza un diagrama de Spaguetti para analizar el flujo que sigue cada operación. En la tabla 3.2 se realiza el análisis de los tiempos y las distancias recorridas durante los cambios de modelo esto con la finalidad de determinar el flujo que se sigue al realizar cada actividad.

Tabla 3.2 Análisis del flujo de las actividades para los cambios de modelo.

Punto de Partida	Destino	Descripción de la actividad	Tiempo (seg.)

En base a la Tabla 3.2 se procede a realizar el diagrama de espaguetti el cual representa gráficamente los movimientos y transportes que se realizan durante los cambios de modelo, la Figura 3.3 muestra un ejemplo de lo que es dicho diagrama.

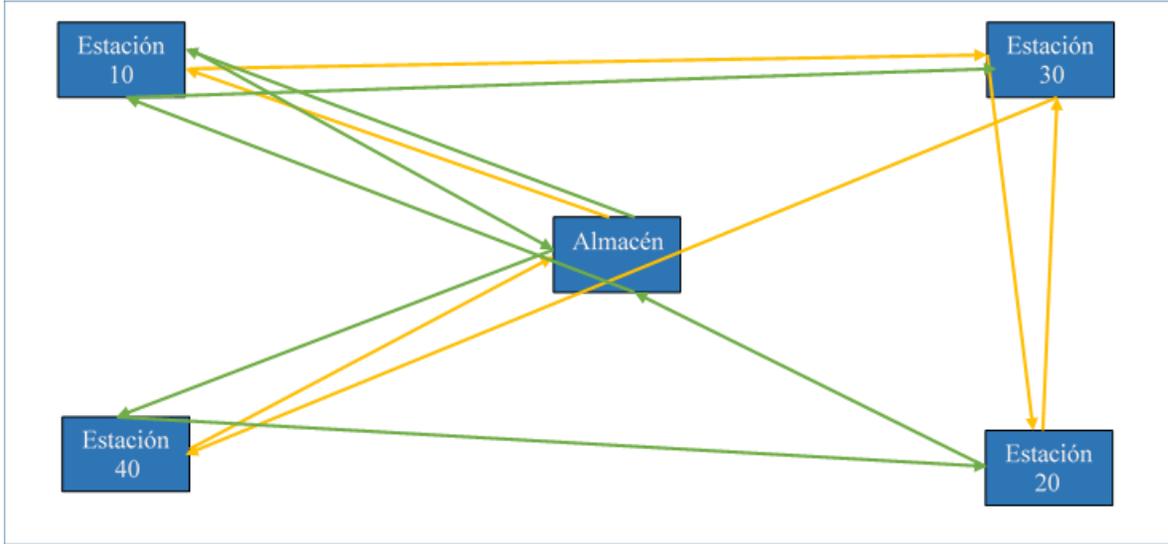


Figura 3.3 Ejemplo de diagrama de spaguetti.

3.3 Fase 2: Separar actividades internas de actividades externas.

Una vez registradas todas las actividades, es momento de identificar cuales actividades no se pueden realizar mientras la maquina está en funcionamiento (actividades internas) y cuales si (actividades externas), el objetivo de realizar la clasificación de las actividades es el de transformar en un evento sistemático el proceso no dejando nada al azar, en la Tabla 3.3 se registran las actividades y se clasifican según sea el caso.

Tabla 3.3 Clasificación de actividades internas y externas.

Actividad	Tiempo (seg.)	Interna	Externa

3.4 Fase 3: Convertir actividades internas a actividades externas.

Ahora como paso siguiente es el de que las actividades internas se pasen a la clasificación de actividades externas, la siguiente lista son una serie de actividades que se llevan a cabo durante esta fase:

- Pre-posicionar herramientas, fixturas, que no se encuentren en el área.
- Ajustar herramientas cuando sea necesario.
- Elaborar mantenimiento preventivo e inspección en las fixturas previo al cambio.
- Programar cambios fuera de las horas “normales” de producción o utilizar una segunda maquina “abierta”.
- Tener el herramental suficiente.
- Modificar herramientas de manera que los ajustes sean una función de la preparación de la herramienta.

3.5 Fase 4: Mejorar Actividades externas y reducir o eliminar Internas.

Como fase final el objetivo que se desea lograr es el de mejorar las actividades externas de la siguiente manera:

- Aplicar la técnica de 5's en las estaciones de trabajo.
- Trabajar con un listado de material y herramientas necesarias para el cambio de modelo.
- Implementar un sistema de ayuda visual el cual indique que está en camino un cambio de modelo.

Para mejorar las actividades internas se procede a realizar las siguientes actividades:

- Sustituir toda clase de tornillos por clamps para sostener bases.
- Estandarizar la herramienta y reducirla.
- Reducir el tiempo para buscar herramientas.
- Cambio en diseño de fixturas para reducir o eliminar el tiempo de set up y ajuste.
- Tener a la mano lo más cerca de la maquina la herramienta que se va a utilizar.
- Marcar los ajustes en las maquinas.

CAPITULO 4

EXPERIMENTACION Y TRATAMIENTO DE DATOS

4.1 Introducción

El contenido de este capítulo presenta el proceso para implementar las 4 fases de la herramienta de SMED, en la primera etapa se enlistan todas las actividades con el tiempo de duración de cada una de ellas, como paso siguiente se elabora un diagrama de espagueti para analizar el flujo de los movimientos al realizar el cambio de modelo.

Una vez registradas todas las actividades, la siguiente fase consiste en identificar cuáles son actividades internas es decir aquellas que no se pueden realizar mientras la maquina esté en funcionamiento y las actividades externas las cuales son las que se pueden realizar mientras la maquina esté en funcionamiento.

El objetivo de la Fase 3 es el de convertir actividades internas a actividades externas, durante esta fase los planes son pre-posicionar herramientas, fixturas las cuales no se encuentran en el área de trabajo, ajuste de las herramientas, tener herramental suficiente y modificaciones de los herramentales.

La última fase consiste en mejorar las actividades externas y reducir o eliminar las actividades internas, durante esta etapa se aplican herramientas tales como; 5's, andones que indiquen que el cambio de modelo se aproxima, estandarización de herramientas, diseño de fixturas, estudio de los ajustes que se le realizan a la máquina, así como implementación de mantenimientos preventivos.

4.2 Fase 1: Enlistar todas las actividades

La Tabla 4.1 Enlista todas las actividades con el tiempo de duración de cada una de ellas, dicha tabla se utiliza para recabar la información de todas las actividades que se realizan durante el cambio de modelo.

Tabla 4.1 Actividades necesarias para realizar el cambio de modelo.

# de Parte que sale: IGT14672599		# de Parte que entra: 2569348		
Elaborado por: Jose Luis Mendoza		Fecha: 10-28-19		
No	Descripción	Tiempo seg.	# de personas	Observaciones
1	Pedir la carpeta en el cuarto de documentos	504	1	Va al cuarto de documentos y la carpeta no está disponible
2	Solicitar el material	406		Ir a almacen a solicitar el material pero el ID no está liberado
3	Solicitar el herramental	473		Ir a tool room a solicitar el herramental
4	Cargar el programa a la máquina	67		Programar la máquina de acuerdo a la hoja de parámetros
5	abrir puertas de máquina	14		
6	Preparar vernier	8		acerca vernier a la máquina
7	Activar la máquina	48		Girar la máquina para quedar en el inicio
8	Buscar desarmador y llavero allen	23		Buscar herramienta de otro lado de la máquina
9	Retirar primer herramineta	30		Retirar primer herramineta y colocarla en el carro
10	Buscar primer herramineta	91		No encuentra la herramienta, está desorganizado el carro
11	Cambio de hoja de proceso	45		Cambio de hoja ya que con la que se está trabajando está ilegible

12	Empezar a buscar la herramienta	12		Encuentra la herramienta
13	Medir la herramienta	4		Validar la herramienta
14	Montar primer herramineta	23		
15	Montar segunda herramienta	142		
16	Montar tercer herramienta	72		
17	Montar cuarta herramienta	63		
18	Montar quinta herramienta	97		
19	Montar sexta herramienta	70		
20	Montar septima herramienta	128		
21	Montar octava herramienta	33		Se suspende ya que le entregaron herramienta equivocada
22	Ir por la herramienta correcta	248		Ir a tool room por la herramineta
23	Continuar con el ensamble de la octava herramienta	127		
24	Montar novena herramienta	69		
25	Montar decima herramienta	149		Se suspende ya que le falta herramineta
26	Ir por la herramienta faltante	98		
27	Continuar con el ensamble de la decima herramienta	44		

28	Montar la herramineta 11	58		
29	Montar herramineta 12	217		Suspender por herramienta dañada
30	Ir a tool room por herramienta sin daño	28		
31	Montar herramineta # 12	23		
32	Montar herramienta # 13	97		
33	Montar herramineta # 14	187		
34	Montar herramineta # 15	186		
35	Montar herramineta # 16	105		
36	Montar herramineta # 17	66		
37	Montar herramineta # 18	68		
38	Cerra guardas	13		
39	Ajustes del programa	110		
40	Sacar el código estampado de la pieza	292		
41	Medir espesor de la lamina	16		
42	Cargar lamina en máquina	37		
43	Ajustes del programa estampado	276		
44				

	Ajustes del programa avellanado	90		
45	Ajuste inserción del laser	155		
46	Ajuste y colocación de códigos M's	145		
47	Máquina trabaja primer lamina	600		
48	Llenar papeleria	84		
49	Solicitar dimensiones criticas	172		
50	Desprender pieza y rebabear	141		
51	Ir a laboratorio de calidad a medir la pieza	35		
52	Medir la pieza	431		
53	Liberación de primer pieza de calidad	597		

En base al análisis y estudio de todas las actividades que se llevan a cabo para desarrollar el cambio de modelo se obtiene que el tiempo total que se necesita un total de 7317 segundos

Con la información obtenida y analizada durante esta fase se realiza un diagrama de espagueti con el propósito de analizar el flujo del cambio de modelo, la Tabla 4.2 Análisis del flujo de las actividades para los cambios de modelo, en la cual se recaban los movimientos y transportes que se realizan durante el cambio de modelo.

Tabla 4.2 Análisis del flujo de las actividades para los cambios de modelo

Punto de partida	Destino	Descripción de la actividad	Tiempo seg.
Máquina			100

	Cuarto de documentos	Pedir a cuarto de documentos la carpeta	
Cuarto documentos	Máquina	Regresar a máquina	53
Máquina	Almacen	Ir a solicitar el material	96
Almacen	Máquina	Regresar a máquina	135
Máquina	Tool Room	Solicitar herramental	0:56
Tool Room	Máquina	Regresar a máquina	192
Máquina	Tool Room	Ir por herramienta ya que está equivocada	105
Tool Room	Máquina	Regresar a máquina	181
Máquina	Tool Room	Ir a cambiar herramienta dañada	152
Tool Room	Máquina	Regresar a máquina	48
Máquina	Tool Room	Ir por herramienta faltante	49
Tool Room	Máquina	Regresar a máquina	36
Máquina	Laboratorio de calidad	Solicitar al auditor de calidad dimensiones críticas	118
Laboratorio de calidad	Máquina	Regresar a máquina	48
Máquina	Laboratorio Calidad	Llevar pieza a medir	26
Laboratorio de calidad	Máquina	Regresar a máquina	56

En base a la Tabla 4.2 se obtiene como resultado el diagrama de espagueti el cual representa el gráficamente los movimientos y los transportes que se realizan durante el cambio de modelo con un total de 1395 segundos de transportes y movimientos

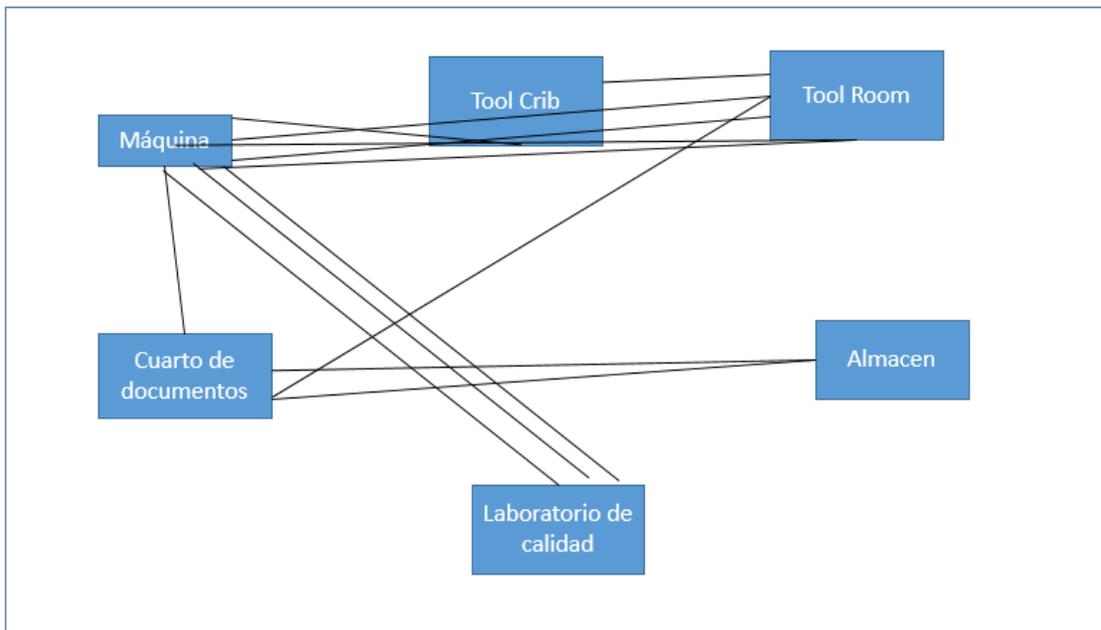


Figura 4.1 Diagrama de Espaguete

4.3 Fase 2: Separar actividades internas de actividades externas.

Mediante la Tabla 4.3 Clasificación de actividades internas y externas, se identifican las actividades internas las cuales son las que no se pueden realizar mientras la maquina está en funcionamiento y las actividades externas las cuales son las que se pueden realizar mientras la maquina sigue en funcionamiento.

Tabla 4.3 Clasificación de actividades internas y externas.

Actividad	Tiempo min.	Interna	Externa
Pedir la carpeta en el cuarto de documentos	504		x
Solicitar el material	406		x
Solicitar el herramental	473		x

Cargar el programa a la máquina	67		x
abrir puertas de máquina	14	x	
Preparar vernier	8		x
Activar la máquina	48	x	
Buscar desarmador y llavero allen	23		x
Retirar primer herramineta	30	x	
Buscar primer herramineta	91		x
Cambio de hoja de proceso	45		x
Empezar a buscar la herramienta	12		x
Medir la herramienta	4		x
Montar primer herramineta	23	x	
Montar segunda herramienta	142	x	
Montar tercer herramienta	72	x	
Montar cuarta herramienta	63	x	
Montar quinta herramienta	97	x	
Montar sexta herramienta	70	x	
Montar septima herramienta		x	

	128		
Montar octava herramienta	33	x	
Ir por la herramienta correcta	248		x
Continuar con el ensamble de la octava herramienta	127	x	
Montar novena herramienta	69	x	
Montar decima herramienta	149	x	
Ir por la herramienta faltante	98		x
Continuar con el ensamble de la decima herramienta	44	x	
Montar la herramineta 11	58	x	
Montar herramineta 12	217	x	
Ir a tool room por herramienta sin daño	28		x
Montar herramineta # 12	23	x	
Montar herramienta # 13	97	x	
Montar herramineta # 14	187	x	
Montar herramineta # 15	186	x	
Montar herramineta # 16	105	x	
Montar herramineta # 17	66	x	

Montar herramineta # 18	68	x	
Cerra guardas	13	x	
Ajustes del programa	110	x	
Sacar el código estampado de la pieza	292		x
Medir espesor de la lamina	16		x
Cargar lamina en máquina	37	x	
Ajustes del programa estampado	276	x	
Ajustes del programa avellanado	90	x	
Ajuste inserción del laser	155	x	
Ajuste y colocación de códigos M's	145	x	
Máquina trabaja primer lamina	600	x	
Llenar papeleria	84		x
Solicitar dimensiones criticas	172		x
Desprender pieza y rebabear	141		x
Ir a laboratorio de calidad a medir la pieza	35		x
Medir la pieza	431		x
Liberación de primer pieza de calidad	597		x

Durante esta fase se obtiene que del total del tiempo para el cambio de modelo 3542 segundos pertenecen a actividades internas y 3775 segundos son destinados en actividades externas.

4.4 Fase 3: Convertir actividades internas a actividades externas

Durante esta fase se obtiene que del total del tiempo para el cambio de modelo 3542 segundos pertenecen a actividades internas y 3775 segundos son destinados en actividades externas. De los 3775 segundos los cuales pertenecen a las actividades externas se reducirán implementando diferentes estrategias tales como:

- Pre-posicionar herramientas, fixturas, que no se encuentren en el área.
- Ajustar herramientas cuando sea necesario.
- Elaborar mantenimiento preventivo e inspección en las fixturas previo al cambio.
- Programar cambios fuera de las horas “normales” de producción o utilizar una segunda maquina “abierta”.
- Tener el herramental suficiente.
- Modificar herramentales de manera que los ajustes sean una función de la preparación de la herramienta.

4.5 Fase 4: Mejora de las actividades externas

Como fase final, el objetivo que se desea lograr es el de mejorar las actividades externas de la siguiente manera:

- Aplicar la técnica de 5's en las estaciones de trabajo.
- Trabajar con un listado de material y herramientas necesarias para el cambio de modelo.
- Implementar un sistema de ayuda visual el cual indique que está en camino un cambio de modelo.

- Para mejorar las actividades internas se procede a realizar las siguientes actividades:
- Sustituir toda clase de tornillos por clamps para sostener bases.
- Estandarizar la herramienta y reducirla.
- Reducir el tiempo para buscar herramientas.
- Cambio en diseño de fixturas para reducir o eliminar el tiempo de set up y ajuste.
- Tener a la mano lo más cerca de la maquina la herramienta que se va a utilizar.
- Marcar los ajustes en las maquinas.

5.1 Resultados y Conclusiones

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Problema	Observaciones	Solución	Tiempo Seg
Pedir la carpeta en el cuarto de documentos	Ir al cuarto de documentos y la carpeta no está disponible	Que la informacion sea digital	504
Solicita el material	ir a almacen a solicitar el material	Que la solicitud lo realice el jefe de grupo y no el que realiza el cambio de modelo	236
Solicita el herramental	ir a tool room a solicitarlo	Que la solicitud la realice el programador	198
Buscar equipo de medición y herramientas	Se tiene que buscar el equipo por que no se tiene suficiente	Proveer lo necesario para realizar los cambios de modelo	136
Cambio de hoja de proceso porque esta ilegible	La hoja de los parametros esta borrosa y no alcanza a leer	Documentación debe de ser digital	67

Desgaste y daño de herramientas	Validar la herramienta ya que las alturas no son las correctas		350
Surtido de herramientas equivocadas por parte de tool room	Se suspende ya que le entregaron herramienta equivocada	Organizacion y control del departamentao a traves de la aplicacion de 5's	175
Falta de herramientas según el programa	Se suspende ya que le falta herramineta	Organizacion y control del departamentao a traves de la aplicacion de 5's	123
Programa incompleto	la persona que realiza el cambio de modelo tiene que realizar algunos calculos para completar la pieza ya que el programdor los omite	Estandarizar los programas	429
Medir espesor de la lamina			
Cargar lamina en máquina			
Llenar papeleria		Asiganar a una persona	
Pedir dimensiones criticas	Estas actividades se realizan hasta que se termina de realizar el cambio de modelo	para que cuando salga la primer pieza todo lo que respecta a papeleria este completo	725
Desprender pieza y rebabear			
Ir a laboratorio de calidad a medir la pieza			
Medir la pieza			

Liberacion de primer pieza de calidad	Calidad despues de entregar las dimensiones criticas se espera a liberar	Liberar la pieza en máquina	600
		Total	3543

Con base a la información anterior, se puede afirmar que reduciendo el tiempo de las actividades externas se obtiene que, de 7317 segundos que se invertían para realizar los cambios de modelo, con las mejoras implementadas se reduce a 3774 segundos lo que representan una reducción del 49% del tiempo de preparación.

REFERENCIAS

- Achanga, P., Shehab, E., Roy, R., & Nelder, G. (2006). Critical success factors for lean implementation within SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management* , 17 (4), 460-471.
- APICS. (n.d.). *Una aproximación al pensamiento LEAN...Hacia las empresas y naciones esbeltas*. Recuperado el 6 de Junio de 2010, de www.apics.org.mx
- Bonavia, T., & Marin, J. A. (2006). An empirical study of lean production in the ceramic tile industry in Spain. *International Journal of Operations & Production Management* , 26 (5), 505-531.
- Cakmakei, M., & Karasu, M. (2007). Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry. *Journal Advanced Manufacturing Technology* , 33, 334-344.
- Escobar, S. E., & Romero, R. (2008). *Aplicación de la Herramienta SMED (Single Minute Exchange of Die) en una Maquina Thermoformer*. Ciudad Juárez: UACJ.
- Gerwin, D. (1993). Manufacturing flexibility: A strategic perspective. *Management science* , 39 (4), 395-410.
- Gest, G. B., Culley, S. J., McIntosh, R. I., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (1994). Classification methodologies for set-up reduction techniques within industry. *Proc. 4th International Factory 2000 conference*. 398, págs. 486-490. University of York: IEE Conference Publication.
- Gilmore, M., & Smith, D. J. (1996). Set-up reduction in pharmaceutical manufacturing: an action research study. *International journal of operations and production management* , 4-17.
- Martínez, A., & Pérez, M. (2001). Lean indicators and manufacturing strategies. *International Journal of Operations & Production Management* , 21 (11), 1433-1451.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Gest, G. B., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (1996). An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance. *Internatioonal Journal of Operations & Production Management* , 16 (9), 5-22.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2000). A critical evaluation of Shingo's (Single Minute Exchange of Die) methodology. *International Journal of Production Research* , 38 (11), 2377-2395.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2001). Changeover improvement: A maintenance perspective. *International Journal of Production Economics* , 73, 153-163.
- McIntosh, R. I., Owen, G. W., Culley, S. J., & Mileham, A. R. (2007). Changeover improvement: Reinterpreting Shingo's "SMED" methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management* , 54 (1), 98-111.

- Mileham, A. R., Culley, S. J., Owen, G. W., & McIntosh, R. I. (1999). Rapid changeover - a prerequisite for responsive manufacture. *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (8), 785-796.
- Moxham, C., & Greatbanks, R. (2001). Prerequisites for the implementation of the SMED methodology, A study in a textile processing environment. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18 (4), 404-414.
- Murrieta, R. C., & Romero, R. (2001). *Propuesta de implementación del sistema SMED en un área de moldeo*. Ciudad Juárez: UACJ.
- Paredes, F. (Julio de 2007). Preparación rápida de máquinas: El sistema SMED. Lima, Perú.
- Perinic, M., Ikonic, M., & Maricic, S. (2009). Die casting process assessment using single minute Exchange of dies (SMED) method. *METABK*, 48 (3), 199-202.
- Reik, M. P., McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2006a). A formal design for changeover methodology. Part 1: theory and background. *Proceedings of the Institutions Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 220, págs. 1225-1235. Sage Publications.
- Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Portland: Productivity Press.
- Shingo, S. (1993). *Una revolución en la producción: El sistema SMED*. México: Productivity Press.
- Stevenson, W. J. (2000). *Estadística para administración y economía*. México: OXFORD.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1991). *The machine that changed the world*. New York: Harper Perennial.