

UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA

REDUCCIÓN DE TIEMPO DE CAMBIO DE MOLDE EN MÁQUINA
INYECTORA DE MOLDEO DE 3500 TONELADAS, EN UNA
PLANTA FABRICADORA DE INTERIORES AUTOMOTRICES

T E S I S

PRESENTADA POR

RICARDO ARCHULETA HERNÁNDEZ

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

DIRECTOR DE TESIS
MC. GUILLERMO CUAMEA CRUZ

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

OCTUBRE 2014

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

RESUMEN

Las necesidades de los clientes por consumir una mayor variedad de productos han provocado que las empresas tengan que convertirse en negocios más flexibles para poder cubrir los requerimientos de sus consumidores. Conforme el tiempo pasa, mas compañías empiezan a adoptar la filosofía de mejora continua y creer en los beneficios de la manufactura esbelta. Lamentablemente existen aún grupos gerenciales que solo se preocupan por querer invertir en grandes tecnologías para incrementar la producción y llenar sus almacenes de bienes, pero no se dan cuenta que existen desperdicios que paran el crecimiento del negocio y que si éstos no se erradican, simplemente no se obtendrán los beneficios esperados.

En las compañías que trabajan bajo el esquema justo a tiempo la flexibilidad es un papel muy importante. Tanto proveedores como clientes deben mantener sus inventarios bajos para absorber fluctuaciones en las demandas. Los cambios de productos deben darse en el menor tiempo posible y así tener menores tiempos muertos. Es por eso que dentro de la gama de la manufactura esbelta existe una herramienta enfocada a reducir aquellos tiempos que no generan valor agregado al proceso de cambio de productos y que además tiene un costo para la compañía. SMED (Single Minute Exchange of Die) se enfoca a reducir el tiempo muerto generado entre el cambio de configuración de un producto a otro.

El presente trabajo muestra una aplicación de SMED enfocado a un proceso de moldeo por inyección de plástico. Proceso que representa el corazón de la compañía en estudio y que además es de alto impacto financiero por sus tiempos caídos de máquina. Dentro de los beneficios obtenidos se obtuvieron un cambio cultural, un beneficio económico y una reducción de tiempo en el proceso de cambio de moldes.

ABSTRACT

The customer's need to consume a greater variety of products has meant that companies have to become more flexible to meet the consumer's requirements. As time goes on, more companies are beginning to adopt the philosophy of continuous improvement and believe in the benefits of lean manufacturing. Unfortunately there are still management teams, who only care for wanting to invest in major technologies to increase production and fill their stores of goods, but there are some wastes that stop the growth of the company and they must be eradicated to get benefits expected.

In companies working under the scheme just in time, flexibility is a very important role. Suppliers and customers must keep their inventory to a lower level to absorb fluctuations in demand. Product changes must occur in the shortest possible time and thus have less downtime. That's why within the range of lean manufacturing there is a tool focused to reduce the non-value added time of the process of change over that has a cost to the company. SMED (Single Minute Exchange of Die) focus to reduce downtime generated between the set up from one product to another.

This paper shows an application of SMED focuses on a process of plastic injection molding. Process that represents the heart of the company under study and is also high financial impact for its fallen machine times. Within benefits, there was a cultural change, economic benefits and a reduction of time in the process of change over were obtained.

DEDICATORIA

La persona que me recibe todos los días con la mejor sonrisa y entusiasmo. La abogada que me da los mejores consejos, quien me motiva a nunca soltar mis sueños y quien siempre me tendrá con la mejor expectativa. Eres tú la persona quien me ha levantado cada vez que he caído. *Silvia*

La persona más inteligente en todo el mundo, el físico que me lo ha enseñado todo; como jugar, cómo reír, cómo estudiar, simplemente como vivir. Haz hecho de mi vida uno de tus mejores trabajos de carpintería; dando forma a mis sueños con el torno de tú enseñanzas y puliendo mi sueños. *Raúl*

Mi respaldo en todo momento, la persona que siempre he contado con su ayuda. El ingeniero que me abrió camino en mi carrera y mantuvo una vara muy alta para que yo me animara a alcanzarla. La persona más entregada que he conocido. *Raúl*

Sencillamente ustedes son los actores principales de mi vida, me supieron guiar hasta poco a poco cumplir mis metas. Sin duda alguna, nada de esto fuese posible sin su ayuda. *Los amo, mi familia.*

AGRADECIMIENTOS

Raúl, Silvia y Raulito, quienes nunca permitieron que me desviara del camino, diciéndome siempre cómo debo de hacer las cosas por el camino correcto. A ustedes familia agradezco primeramente.

Mi novia *Ana Gabriel*, tu quién siempre me pusiste el ejemplo de no tirar la toalla aún cuando el camino lucía pesado. Agradezco todas las veces que me ayudaste en la maestría. Tu cariño incondicional fue mi mayor motivación estos dos años. Te amo chaparrita.

A la Universidad de Sonora y al departamento de Ingeniería Industrial. En especial a mi tutor *Guillermo Cuamea*, por haber guiado mi trabajo de tesis y aplicar su experiencia en este proyecto.

Mis compañeros de trabajo que sacrificaron horas por ayudarme en este proyecto. Su esfuerzo no ha sido en vano e infinitamente estoy agradecido con todo el equipo por haber aportado sus ideas.

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)* y al *Programa de Fortalecimiento Institucional (PIFI 2013)* por su apoyo económico.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación	3
1.1.2. Proceso teórico de cambio de molde.....	4
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Objetivo general	5
1.4. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	5
1.6. Alcances y limitaciones	5
1.7. Justificación.....	6
2. MARCO DE REFERENCIA	7
2.2. Sistema de Producción Toyota	8
2.2.1. La filosofía del modo Toyota	11
2.3. Manufactura Esbelta	12
2.3.1. Pensamiento a largo plazo	15
2.3.2. Procesos estables y estandarizados.....	15
2.3.3. Gestión Visual.....	17
2.3.4. Producción nivelada (HEIJUNKA).....	18
2.3.5. Mejora continua	18
2.3.6. Jidoka (Automatización con toque humano)	19
2.3.7. Justo a tiempo (JIT)	20

2.4. Cambio de dado en tiempo de un dígito (SMED).....	20
2.4.1. Orígenes de SMED.....	21
2.4.2. Paradigmas en los procesos de cambio	21
2.4.3. Aplicación de SMED	22
3. METODOLOGÍA.....	24
3.1. Estructura metodológica	24
3.1.1. Paso 1. Justificación	25
3.1.2. Paso 2. Equipo multidisciplinario	26
3.1.3. Paso 3. Condición actual	26
3.1.4. Paso 4. SMED	27
3.1.5. Paso 5. Comparación de resultados	30
3.1.6. Paso 6. Documentación.....	31
4. IMPLEMENTACION	32
4.1. Máquina de moldeo por inyección no. 11.....	32
4.2. Paso 1. Justificación	34
4.3. Paso 2. Equipo multidisciplinario.....	35
4.4. Paso 3. Condición actual	37
4.5. Paso 4. SMED.....	46
4.6. Paso 5. Comparación de resultados	57
4.7. Paso 6. Documentación	59
5. CONCLUSIONES.....	61
6. RECOMENDACIONES	66
7. TRABAJOS FUTUROS	68
8. REFERENCIAS.....	69
ANEXO.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Relación entre tamaño de lote y tiempo de ciclo. Adaptación de Lambrecht y Vandaele (1996).	7
Figura 2.2. Pirámide de las “4P” del modelo de Toyota (Toledano de Diego et al., 2009)	11
Figura 2.3. Las 3 m’s del desperdicio (Morgan, J y Liker, J.K., 2007).....	13
Figura 2.4. Casa del Sistema de Producción Toyota. (Muerza, 2012)	14
Figura 2.5. Ciclo PDCA (HCI, 2010).....	16
Figura 2.6. Conversión del PDCA al SDCA (HCI, 2010)	17
Figura 3.1. Metodología para implementar SMED	25
Figura 3.2. Fases del SMED (Sugai el al., 2007)	29
Figura 4.1. Proceso de montaje.	32
Figura 4.2. Distribución de planta en empresa IAC.	33
Figura 4.3. Máquina inyectora de plástico no. 11	34
Figura 4.4. Equipo multidisciplinario SMED, nivel México.	35
Figura 4.5. Pizarrón de cambios de moldes.	39
Figura 4.6. Tendencias de tiempos de montajes en IMM 11.	40
Figura 4.7. Histograma para tiempos de montaje.....	40
Figura 4.8.a. Sistema de valvulado sin identificación.	43
Figura 4.8.b. Árbol de brazo de robot sin identificación.....	43
Figura 4.9. Brazo de robot incompleto	44
Figura 4.10. Cama de moldes	44
Figura 4.11. Mangueras desordenadas.....	45
Figura 4.12. Proceso de drenado de agua	45
Figura 4.13. Centrado de molde.....	46
Figura 4.14. Actividades de montadores y técnico de procesos	47
Figura 4.15. Diagrama de recorrido de montador 1.....	47
Figura 4.16. Diagrama de recorrido de montador 2.....	48
Figura 4.17. Listado de actividades de montadores	49

Figura 4.18. Separación de actividades internas y externas	49
Figura 4.19. Dispositivo de drenado de agua	51
Figura 4.20. Calentador de moldes	52
Figura 4.21. Árbol de brazo de robot mejorado	53
Figura 4.22. Identificación del sistema de valvulado	53
Figura 4.23. Cama de moldes completo.....	54
Figura 4.24. Peine para mangueras de valvulado	54
Figura 4.25. Brazo de robot para molde de IP.....	55
Figura 4.26. Kit de herramientas para montadores	55
Figura 4.27. Franja de alineación de moldes.....	56
Figura 4.28. Recorrido de montador 1, después de mejoras.....	57
Figura 4.29. Recorrido de montador 2, después de mejoras.....	57
Figura 4.30. Lista de actividades final para montadores (Actividades resaltadas representan actividades internas que se les redujo tiempo con implementación de mejoras)	58
Figura 4.31. Comparativo antes y después de implementación de mejoras	59
Figura 5.1. Estudio de capacidad antes de implementar SMED	61
Figura 5.2. Estudio de capacidad después de implementar SMED.....	62
Figura 5.3. Foto de entrega de reconocimiento a integrantes de trabajo SMED	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Reglas básicas del ADN del TPS (Spear y Kent, 2000)	10
Tabla 2.2. Funciones de la gestión visual (Tezel, 2009).	18
Tabla 4.1. Actividades para reducir tiempos de montaje.....	37
Tabla 4.2. Tiempos de cambio de molde en IMM 11.....	39
Tabla 4.3. Información de capacidad para IMM no. 11.	41
Tabla 4.4. Tiempos de montaje después de implementación de mejoras	58
Tabla 4.5. Información de capacidad para IMM no.11	60

1. INTRODUCCIÓN

La industria Automotriz ha optado por el uso del plástico en lugar de otros materiales como el fierro o aluminio, gracias a sus beneficios como son; menor peso, mayor flexibilidad de fabricación, mejor acabado, absorción en impactos, entre otros más (Covarrubias, 2013). Además la variedad de plásticos como uso de materias primas están en aumento en cuestión de demandas en la industria (Advanced Materials & Processes, 2011), es decir existen cada vez más y más opciones diferentes de plásticos para la fabricación de artículos distintos.

Existen aún compañías que siguen trabajando bajo los esquemas antiguos de producción, en donde la fabricación de grandes lotes, la optimización de procesos independientes y uso de labor especializada no cumplen con los porcentajes de eficiencia y competitividad que en la actualidad se requiere. Gracias a la globalización, las empresas locales tienen que competir con los grandes corporativos. De esta manera, las empresas transnacionales están en una constante búsqueda de la mejora continua, para no ser alcanzados y mucho menos ser sustituidos.

Por años la industria automotriz ha adoptado los modelos de gestión de la manufactura esbelta, con el fin de convertirse en un negocio más flexible, reduciendo los desperdicios generados. Manufactura esbelta según Cuatrecasas (2010) es una nueva manera de pensar, planificar y decidir en base a la opinión del cliente, reduciendo al máximo las actividades que implican un costo y no aportan valor alguno a la cadena de valores. A menudo la gerencia se enfoca en la optimización de procesos sin voltear a ver los desperdicios generados en los mimos, pretenden reducir tiempos de entrega usando tecnología costosa y en ocasiones confusa, provocando grandes aumentos de inventarios, cuellos de botella, sobre producción y bajo rendimiento laboral. Por otro lado la manufactura esbelta al enfocarse a la eliminación de los desperdicios, logra reducir tiempos de entrega con una producción en pequeños lotes y una inversión mínima en el negocio.

En este trabajo se empleará una de las herramientas de manufactura esbelta conocida como SMED (Single Minute Exchange of Die), que ayuda a reducir los tiempos de cambios de herramental y tiene como objetivo el hacer cambios en menos de 10 minutos. Obteniendo como beneficios potenciales; Aumentar la flexibilidad, disminuir los lotes de inventario y reducir los tiempos de entrega, entre otros beneficios.

En este documento se describirá la reducción del tiempo de cambio de molde en una máquina inyectora de plástico de 3500 toneladas, que es considerada cuello de botella, según el mapeo del proceso realizado por el grupo gerencial de la compañía, en el proceso de fabricación del tablero de instrumentos dentro de un sistema justo a tiempo. La metodología a seguir constará de 6 pasos en donde se encuentran las cuatro fases de SMED del Dr. Shigeo Shingo, agregando una última fase de compromiso (Sugai, 2007), con el fin de identificar problemas de montaje, encontrar mejoras potenciales y optimizar el proceso de cambio de molde. El uso de SMED fue optado por la flexibilidad que presenta la herramienta al adaptarse a cualquier tipo de procesos en donde se realice un cambio de producto o evento.

Se presentará la situación actual de la compañía, los fundamentos teóricos sobre cambios de herramientas, la metodología y su fase de implementación para el proceso de mejora en los cambios.

En este capítulo se dará a conocer la historia de la empresa, así como el área específica de trabajo de la investigación, los objetivos de este estudio, las limitaciones y finalmente la justificación sobre la selección del proceso del cambio de molde.

1.1. Presentación

International Automotive Components (IAC) es una empresa global líder en componentes y sistemas automotrices, interiores y exteriores y aplicaciones estructurales y funcionales. La compañía cuenta con 15,000 asociados en la parte Norte América, además de contar con corporativos en Asia y Europa (IAC, 2013).

IAC Hermosillo es considerada la planta con mayor número de ventas a nivel Norte América, entre plantas hermanas, siendo proveedor directo de la planta ensambladora Ford ubicada en la ciudad de Hermosillo, Sonora, a la cual le produce interiores automotrices para los modelos Fusión y Lincoln MKZ. Trabajando bajo el esquema JIT (Justo a tiempo), la empresa se compone de 5 unidades de negocios, divididas de acuerdo al producto que elaboran, estas áreas son; Unidad de tableros, unidad de puertas, unidad de consolas, unidad de moldeo y unidad de laminado por prensado. IAC además de ser una planta ensambladora, también crea y transforma su propia materia prima, bajo procesos controlados y establecidos en el estándar ISO-TS 16949.

Para efectos de este trabajo, la investigación se llevará a cabo en el área de moldeo por inyección de plástico, la cual cuenta con un total de 63 máquinas inyectoras, también llamadas prensas, con tonelajes que van desde los 120 hasta las 3500 toneladas. El programa de cambios rápidos de moldes que cuenta el área de moldeo fue establecido en el 2005 a través de un concurso de QCO (Quick Changeover). Este programa se realizó con el objetivo de disminuir los tiempos muertos de las máquinas generados por los montajes. En promedio se realizan 350 montajes a la semana, según el departamento de programación (Víctor Campos, entrevista personal, 10 Enero 2013), tratando de cumplir con la producción establecida diariamente. Este programa de producción se basa en un documento llamado "home base" (documento de capacidades), realizado por el departamento de ingeniería, el cual establece las capacidades de las máquinas y la cantidad de turnos que están en operación. Finalmente, el impacto financiero de tener las prensas sin operar es de 162 dólares, de acuerdo el tonelaje de la prensa (Leonardo Salayandia, entrevista

personal, 22 de Febrero 2013), por tal razón la aplicación de SMED es de suma importancia para reducir los tiempos de prensa parada.

1.1.2. Proceso teórico de cambio de molde

El proceso de cambio de molde empieza con un programa de producción hecho por el departamento de programación, éste programa es repartido a los supervisores y líderes de manufactura del área para que se junte al equipo de montadores, técnicos y operadores y se planeen los montajes de cada turno, de esta forma la parte de coordinación queda a cargo del supervisor de manufactura.

Una vez decidido el cambio, un grupo de técnicos empiezan el proceso de montaje (montar y desmontar moldes) en las prensas, mientras que los operadores hacen cambios en las distribuciones de las máquinas, preparando todo lo necesario para correr el siguiente lote de producto. Además del personal de procesos y producción, también participan los departamentos de calidad, para realizar la liberación de las primeras piezas, y participación de personal de logística para realizar cambios de empaques para el siguiente producto.

1.2. Planteamiento del problema

El sistema actual de cambios rápidos, al no ser debidamente seguido por; una mala programación, rotaciones del personal y aumento en la cantidad de cambios moldes en todas las máquinas, ha provocado que los montajes no se lleven a cabo en su tiempo establecido. La problemática de tener un sistema de cambios de moldes que se realizó al arranque de la compañía y que a su vez no ha sufrido transformación, afecta negativamente a los programas de producción por basarse en información no actualizada y crear programaciones que no se pueden cumplir en una semana. Además los costos de operación del área se elevan por no hacer reducciones en los tiempos de cambio de moldes, entre otros desperdicios generados.

Existe un deficiente sistema de cambios rápidos en el área de moldeo que no ha permitido reducir los tiempos de montaje en la máquina inyectora No. 11, afectando en la capacidad, efectividad total (OEE) y flexibilidad del equipo.

1.3. Objetivo general

Reducir el tiempo de cambio del molde de la máquina inyectora de plástico (IMM) no.11 y el molde del sustrato (pieza plástica) para el panel de instrumentos (tablero), aplicando SMED como herramienta de reducción de tiempos y reducción de variabilidad en los tiempos de montajes, impactando en la disponibilidad de la máquina.

1.4. Objetivos específicos

- Identificar actividades internas y externas que realizan los técnicos en el proceso de cambio de molde
- Convertir actividades internas a externas.
- Reducir los tiempos de actividades internas y externas.

1.5. Hipótesis

Mediante la implementación de la herramienta SMED, los cambios de herramental en la máquina inyectora no. 11 y en particular el molde de sustrato del tablero serán reducidos en tiempo y en variación de tiempo, para obtener mayor flexibilidad en la maquinaria.

1.6. Alcances y limitaciones

La fabricación del tablero de instrumentos empieza por el área de moldeo pasando después al proceso de flameado, en donde el tablero es activado por medio de calor, después pasa al proceso de fomeado en donde se inyecta espuma para unir el sustrato y la piel del tablero, después se dirige al proceso de troquelado, pinturas y finalmente la línea de ensamble final. Este trabajo se realizará en el área de moldeo, de las 63 máquinas inyectoras que cuenta el área de moldeo, se tomará la máquina número 11 para este proyecto. En la IMM se corren los moldes para los sustratos de los tableros de los automóviles Fusión y Lincon MKZ, además de la pieza ducto estructural (*structural duct*). En este caso se disminuirán los tiempos de montajes para el molde del sustrato del tablero Fusión.

La metodología a seguir también puede ser implementada en las demás prensas, pero en este trabajo solo se escogió la máquina con mayor tonelaje del área de moldeo y el sustrato con mayor interés en la empresa, el tablero de instrumentos.

1.7. Justificación

La justificación para realizar este proyecto se basa en tres ramas (Espin, 2013) que servirán para resolver tres problemáticas que cumple el proceso de inyección moldeo, en la prensa número 11 y el molde del IP:

1) *Cuello de botella*. De todo el sistema de fabricación del panel de instrumentos Fusión, el proceso de inyección es considerado el más tardado. Aunque es el primer proceso de la cadena productiva y cuenta con un inventario en proceso, el tiempo de ciclo de la prensa es el más tardado en todo el sistema de producción. Por tal razón, eliminando o reduciendo el tiempo muerto generado en un montaje en la prensa, se podrá reducir el tiempo de entrega (lead time).

2) *Flexibilidad*. Por la alta demanda que tiene el tablero fusión, este molde abarca el 95% de la capacidad de la máquina inyectora y solo deja un 5% a la fabricación del tablero Lincoln, teniendo así un 100% de utilización de la prensa, lo que se considera arriesgado para el funcionamiento de la misma. Debido a los tardados tiempos de montaje, se utiliza la estrategia de producción en grandes lotes, esto con el fin de evitar los tiempos muertos del montaje. Reduciendo el tiempo caído de máquina por cambio de molde, se planea aumentar la capacidad de la prensa.

3) *Costo*. Por trabajar bajo un sistema JIT, la mayoría de los procesos tienen sus capacidades calculadas a un 85% de producción, en ocasiones hasta más. La IMM número 11 se encuentra al máximo de su utilización, por tal motivo, cualquier tiempo no programado, que la máquina no esté fabricando generará un costo de 162 dólares por hora, debido al tonelaje de la prensa.

2. MARCO DE REFERENCIA

Uno de los grandes desafíos para las empresas es la producción diversificada. Esto por la cantidad de cambios en los herramientas y parámetros en los procesos (Shingo, 1985). Agustín y Santiago (1996) Comentan que con el incremento de la demanda de los productos y los cambios en las ventas semanales a ventas diarias, las líneas de producción se han tenido que ajustar a las necesidades de los clientes. Es por eso que las empresas prefieren la producción de grandes volúmenes y poca variedad de productos (Shingo, 1985). Según Buffa (1984), las decisiones de fabricación, como el tamaño del lote, pueden tener importantes implicaciones estratégicas para la empresa. Una extensa literatura sobre los problemas de tamaño de lote existen (Drexler, 1997) y (Karimi B. et al. 2003), la mayoría de los cuales trata de encontrar un tamaño de lote óptimo (llamada Cantidad económica (EOQ) o Producción Económica de Cantidad) que logra el equilibrio entre los costos fijos de pedidos y los costos de inventario (Filho & Uzsoy, 2011). Por su parte, Karmarkar et al. (1985) introdujo por primera vez la relación convexa entre tamaño del lote y el tiempo de ciclo promedio. Esta relación se deriva de la teoría de colas, específicamente a la aproximación Kingman del tiempo de ciclo esperado en el sistema para la G/G/1 y se ilustra en la Figura 2.1.

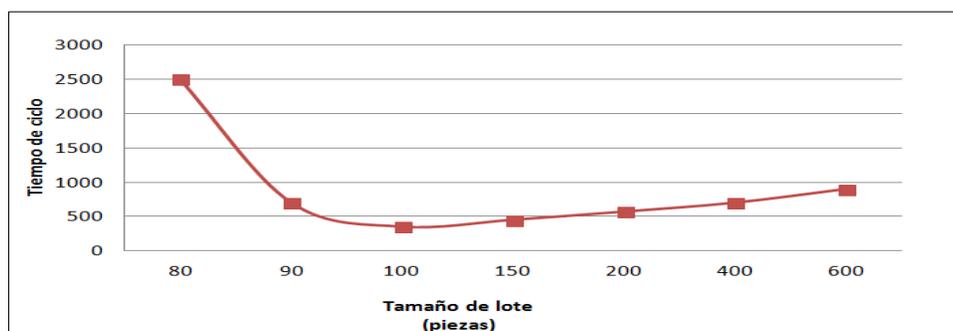


Figura 2.1 Relación entre tamaño de lote y tiempo de ciclo. Adaptación de Lambrecht y Vandaele (1996).

Lambrecht & Vandaele (1996) describen esta relación: "grandes tamaños de lote causarían tiempos de ciclo largos (el efecto procesamiento por lotes)"; como el

tamaño del lote se hace más pequeño el tiempo de ciclo disminuye, pero una vez que un tamaño mínimo de lote se alcanzó una reducción adicional del tamaño de lote provocará altas intensidades de tráfico que resultan en tiempos de ciclo más largos (el efecto de saturación).

Desde finales de los años 70's hasta la fecha, los fabricantes se enfrentan a una mayor competencia. Con los paradigmas de manufactura esbelta y *mass customisation*, los mercados empezaron a buscar bajos costos en unidades y alta calidad (Owena *et al.*, 2007). La industria automotriz ofrece cada vez más opciones de diseño a los consumidores finales, en la actualidad podemos encontrar modelos automotrices con una mayor cantidad de opciones en; exteriores, interiores, colores, sistemas de navegación, refrigeraciones, entre otras opciones. Por lo tanto la fabricación de pequeños lotes cobra importancia y pasa de ser una virtud de las empresas a una necesidad. Los clientes buscan cada vez más tiempos de entrega cortos y una alta confianza en la entregas y para esto se requiere tener los menores tiempos de entrega en producción (Van Goubergen, 2000). La necesidad y un enfoque en la flexibilidad corresponden directamente al tamaño de los lotes. Una pregunta clave es, ¿cuál es el tamaño del lote más pequeño que se puede producir de forma económica? Se puede demostrar fácilmente que hay una relación directa entre el tamaño de los lotes y los tiempos de preparación. Cuanto más corto sea el tiempo de preparación, más pequeño es el tamaño del lote (Cakmakci, 2009).

A pesar que las demandas fluctuantes exigen a las compañías romper paradigmas y disminuir los niveles de inventarios y tamaños de lotes, existen filosofías y herramientas que se han creado para poder absorber los “picos” en las demandas y tener procesos más estables. Ejemplo de ello es la filosofía de Toyota que como comentan Lander y Liker (2007), se enfoca a retirar los desperdicios de la cadena de valor y sobre todo poner interés en la gente.

2.2. Sistema de Producción Toyota

El sistema de producción Toyota fue creado por los japoneses Eiji Toyoda y Taiichi Ohno después de la Segunda Guerra Mundial, como resultado de la escasez de

recursos materiales, financieros y humanos en las industrias japonesas (Hassan y Kajiwara, 2013). Poco a poco, a través de muchas iteraciones, el Sistema de Producción Toyota (TPS) desarrolló y proporcionó una herramienta que utiliza la innovación y el conocimiento común, y que funcionaron bien en un ambiente con valores culturales diferentes en comparación con el hemisferio occidental. Sólo en 1965, cuando se puso en el sistema también a los proveedores de TMC (Toyota Motor Company), TPS comenzó a ser documentado pero fue en gran parte desapercibido hasta 1973 cuando la crisis del petróleo afectó a la industria automotriz global (Teich y Faddoul, 2013).

Nortje y Snaddon (2013) definen al sistema de producción Toyota (TPS) como la cúspide de los enfoques de mejora continua en las organizaciones de fabricación. Sin embargo, algunos autores cuestionan la eficacia de los criterios establecidos, y proponen la teoría del aprendizaje de TPS de Bateson (Bateson, 1972). Por otra parte, el sistema de Toyota puede ser visto como un conjunto de principios (Liker 2004) que definen la lógica que condujo al desarrollo de las herramientas de TPS. Según Spear y Kent (2000) el conocimiento tácito del TPS se puede reducir a cuatro reglas básicas: Regla 1: todo trabajo deberá ser altamente especificado en cuanto a contenido, secuencia, cronometraje y resultado. Regla 2; toda conexión cliente proveedor debe ser directa, y debe existir una forma no ambigua de enviar pedidos y recibir respuestas. Regla 3; el camino para todos los productos y servicios debe ser simple y directo. Regla 4; cualquier mejora debe ser hecha de acuerdo al método científico, bajo la guía de un profesor, en el nivel más bajo posible de la organización. Estas reglas básicas, se pueden resumir de acuerdo a la Tabla 2.1.

Cuando la compañía japonesa Toyota reestructuró su sistema de producción en serie con el sistema de producción único llamado sistema de producción de Toyota, la fundación de LEAN (esbelto) había sido puesto en marcha. Después TPS fue reemplazado por Lean (Womack et al, 1990). Después de seguir el modelo Toyota, autores como Shah y Ward (2003) acreditan a Womack como el creador del término lean y autores como Teich y Faddoul (2013) mencionan que el término lean fue acuñado en 1990. Por lo tanto, desde 1990 autores como Rajenthirakumar y Shankar

(2011) hablan del sistema de producción Toyota como si hablaran de lean manufacturing, siendo ésta una influencia de practicas esbeltas que contribuyen sustancialmente con el desempeño de las plantas.

REGLA	HIPÓTESIS	SEÑALES DE QUE HAY UN PROBLEMA	RESPUESTAS
1	<p>La persona o la máquina pueden desempeñar la actividad de forma específica.</p> <p>Si se realizar la actividad de acuerdo a lo especificado. El bien o servicio estarán libres de defectos</p>	<p>No se realiza la actividad de acuerdo a lo especificado.</p> <p>El resultado es defectuoso.</p>	<p>Determinar el verdadero nivel de destreza de las personas y la verdadera capacidad de la máquina y capacitar o modificar en forma apropiada.</p> <p>Modificar la actividad del diseño.</p>
2	<p>Los pedidos de los clientes serán por bienes o servicios en una mezcla y volumen especificados.</p> <p>El proveedor puede responder a los pedidos del cliente.</p>	<p>Las respuestas no van al paso de los pedidos.</p> <p>El proveedor está sin hacer nada, esperando los pedidos.</p>	<p>Determinar la verdadera mezcla y volumen de la demanda y la verdadera capacidad del proveedor; volver a capacitar, modificar las actividades, o re asignar parejas de cliente-proveedor en una forma apropiada.</p>
3	<p>Todos los proveedores conectados a la vía de flujo son necesarios.</p> <p>No se necesita a ningún proveedor que no está en la vía de flujo.</p>	<p>En realidad no se necesita a una persona o máquina en particular.</p> <p>Un proveedor no determinado provee un servicio o bien intermedio.</p>	<p>Determinar por qué no es necesario el proveedor y determinar nuevamente la línea de flujo.</p> <p>Investigar por qué era necesario el proveedor no especializado y rediseñar la línea de flujo.</p>
4	<p>Un cambio determinado en una actividad, conexión, o vía de flujo mejorará el costo, calidad, tiempo de ejecución, tamaño de lote o la seguridad por una cantidad específica.</p>	<p>El resultado actual es diferente al resultado esperado.</p>	<p>Investigar la forma en que en realidad se desempeñó la actividad o la conexión o de qué manera se operó la vía de flujo. Determinar los verdaderos efectos del cambio.</p>

Tabla 2.1. Reglas básicas del ADN del TPS (Spear y Kent, 2000).

En los años 80's y 90's, el Sistema de Producción Toyota ha demostrado su influencia abrumadora sobre la reestructuración de la industria automotriz global. Prueba de ello es la percepción continua del TPS como un modelo de fabricación de clase mundial (Oliver et al., 1994).

2.2.1. La filosofía del modo Toyota

Casi por definición, la mejora continua es una estrategia empresarial a largo plazo para mejorar su negocio en términos de valor y satisfacción del cliente, la calidad, la velocidad del mercado, la flexibilidad y la reducción de costos (Keller, 2009). La siguiente pirámide (véase Figura 2.2) es una representación del pensamiento a largo plazo (Toledano de Diego et al., 2009).



Figura 2.2. Pirámide de las "4P" del modelo de Toyota (Toledano de Diego et al., 2009).

Liker (2004) explica los 4 bloques de la pirámide en forma de 14 principios:

En el bloque de Filosofía de largo plazo, el principio 1. Base sus decisiones de gestión en una filosofía a largo plazo, aún a costa de las metas financieras de corto plazo.

El segundo bloque sobre el proceso correcto producirá los resultados deseados, abarca los principios: principio 2. Crear un flujo de proceso continuo para traer problemas a la superficie. Principio 3. Utilizar sistemas de "atracción" para evitar la sobreproducción. Principio 4. Nivelar la carga de trabajo (heijunka). (Trabaja como la tortuga, no la liebre). Principio 5. Construir una cultura de parar para arreglar los problemas, para obtener la calidad desde el primer momento. Principio 6. Tareas y

procesos estandarizados son la base para la mejora continua y potenciación de los empleados. Principio 7. Utilice un método visual para que ningún problema se oculte. Principio 8. Utilice sólo tecnología fiable, probado a fondo que sirve a su gente y procesos.

El tercer bloque referente a agregar valor a la organización de desarrollo de las personas, toma en cuenta los principios: principio 9. Crear líderes que entiendan a fondo el trabajo, viven la filosofía, y enseñar a los demás. Principio 10. Desarrollar personas excepcionales y los equipos que siguen la filosofía de su empresa.

Principio 11. Respete a su amplia red de socios y proveedores, desafiando ellos y ayudarles a mejorar.

El último bloque, Continuamente solución de problemas de raíz, unidades de aprendizaje organizacional: principio 12. Ve a ver por ti mismo para comprender a fondo la situación (Genchi Genbutsu). Principio 13. Tome decisiones lentamente por consenso, teniendo en cuenta a fondo todas las opciones, aplicar las decisiones rápidamente (Nemawashi). Principio 14. Conviértase en una organización de aprendizaje mediante la reflexión implacable (Hansei) y la mejora continua (Kaizen).

Los principios del *Lean* se basan en identificar las actividades que generan valor en la cadena de suministro, la generación del flujo de valor al cliente, los sistemas *Pull* y la mejora continua hacia la perfección (Womack y Jones, 1996).

2.3. Manufactura Esbelta

Manufactura esbelta es el enfoque de gestión que se desarrolló con una fuerte orientación en la reducción de desperdicios. La conciencia de que la eficiencia en la fabricación requiere un enfoque holístico sobre todo porque la cultura es a menudo considerado como un elemento clave en la práctica de manufactura esbelta. Actualmente demasiado de la atención se centra erróneamente en los aspectos técnicos, las herramientas y técnicas en lugar de la capacidad de crear una cultura adecuada para apoyar la transformación esbelta (Azuan y Ahmad, 2010). Esto puede permitir a los encargados en su ejecución, a menudo los ingenieros industriales,

enfocar su energía en la mayor probabilidad de adopción esbelta (Nortje y Snaddon, 2013). Por otra parte, manufactura esbelta es acerca de las personas en la organización para que la cultura pueda residir en las manos, los corazones y las mentes del personal de la empresa. Con el fin de transformar de lo no esbelto a inclinarse a un cambio que se desee realizar no sólo en un proceso técnico-racional (Philip, 2010).

La manufactura esbelta considera tres tipos de desperdicios según Marchwinski *et al.* (2008). En la Figura 2.3 se muestran las 3 principales M's; muri, mura y muda (en términos japoneses y español). Estas M's engloban a los 7 desperdicios generados.

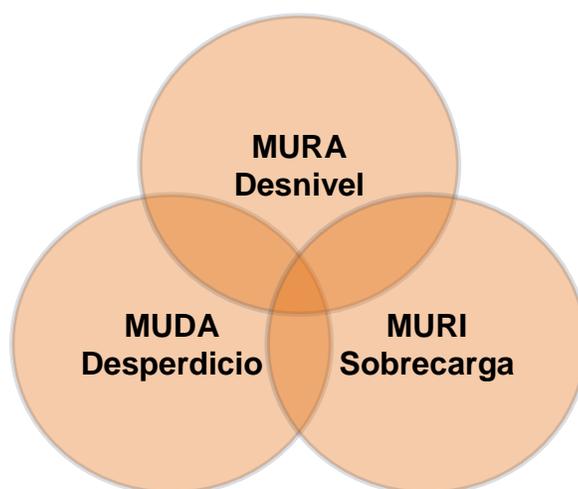


Figura 2.3. Las 3 m's del desperdicio (Morgan, J y Liker, J.K., 2007).

Autores como Vyas (2011) desglosan estas principales M's de la siguiente manera:

Muda: Sin valor agregado, todas las actividades derrochadoras en la elaboración del producto final que alargan los plazos de entrega, como el movimiento extra para conseguir piezas o herramientas, exceso de inventario o cualquier tipo de espera.

Muri: Sobrecarga personas o equipos, lo que significa empujar a las personas y las máquinas más allá de sus límites naturales. La sobrecarga provoca problemas de seguridad, calidad y en la maquinaria provocando averías y defectos. Un ejemplo de muri puede ser trabajar horas extras los fines de semana y no tener suficiente trabajo para los miembros del equipo durante algunos días de la semana.

Mura: Desnivel, lo que significa desigualdad debido a la apretada producción irregular o volúmenes de producción que fluctúan debido a problemas internos, como el tiempo de inactividad o piezas faltantes o defectos. Muda será un resultado de Mura. (Liker, 2004).

Otra manera de conocer los desperdicios es de la siguiente manera: sobreproducción, esperas, transportes, sobre procesar, exceso de inventario, movimientos innecesarios y defectos. Liker (2004) añade un octavo muda que es el de la creatividad de los empleados no utilizada, entendiendo conocimiento como la suma de pensamiento, voluntad y acción (Toledano de Diego et al., 2009).

El diagrama de la casa de la manufactura esbelta (véase Figura 2.4) se ha convertido en uno de los símbolos más reconocibles de la fabricación moderna por ser un sistema estructural. La casa es sólida solo si el techo, los pilares y los cimientos son fuertes. Hay diferente versiones de la casa, pero los principios esenciales se mantienen (Muerza, 2012).

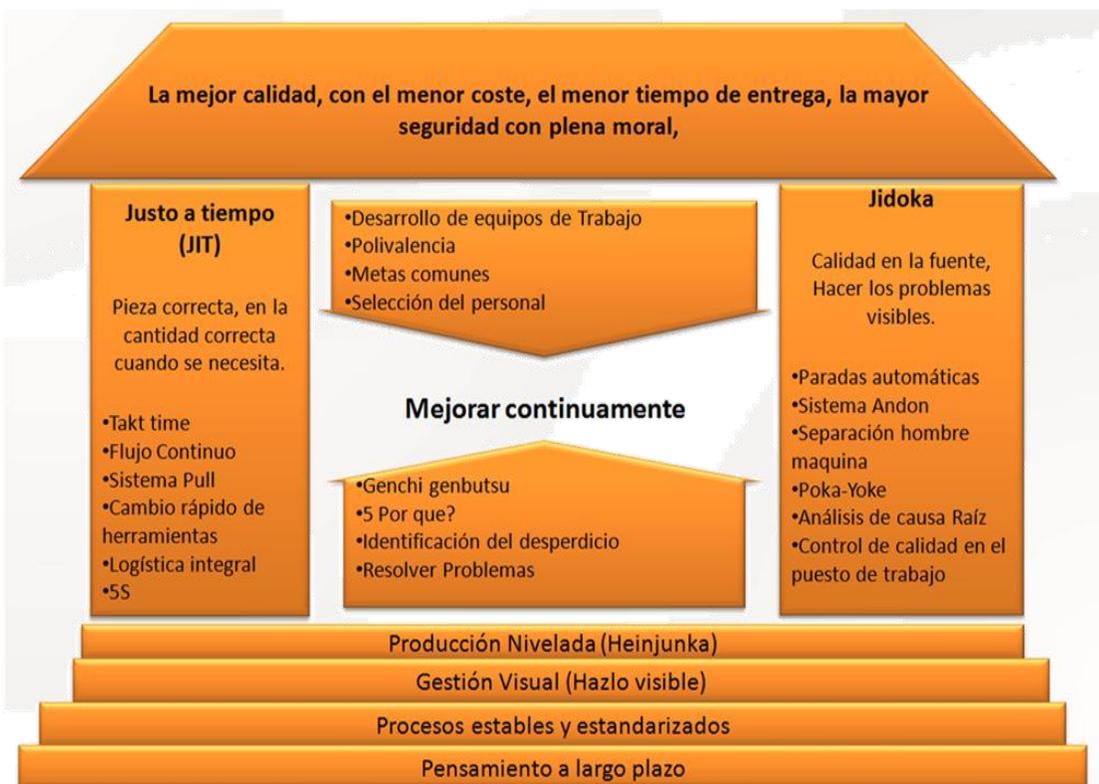


Figura 2.4. Casa del Sistema de Producción Toyota. (Muerza, 2012).

Las herramientas del Sistema de Producción Toyota están diseñados para ver los problemas fácilmente, fácil de resolver y fácil de aprender de los errores (Azuan y Ahmad, 2010). En general, esta casa del TPS sirve para eliminar los desperdicios generados en una empresa con la ayuda de las herramientas de manufactura esbelta.

2.3.1. Pensamiento a largo plazo

Así como se presentó en la pirámide de los 14 principios de Toyota, en donde se habla sobre creer en la filosofía a largo plazo a pesar de las cuestiones financieras a corto plazo. Liker (2004) también habla sobre agregar valor a la sociedad y para lograr ésto, se debe enfocar los esfuerzos en pensamientos a largo plazo, de esta manera la organización puede adaptarse a cualquier cambio en el entorno.

Otra manera de obtener beneficios a largo plazo es cuidar la calidad de los equipos, productos y servicios con los clientes, si uno toma la decisión de mantener en buen estado los bienes de una organización, prácticamente está invirtiendo en lo que a largo plazo le resultará buenas acciones con los clientes, por el otro lado si se trata de omitir ciertos mantenimientos en un futuro se puede obtener resultados no deseados y perder la confianza de los compradores (Tontegode, 2006).

2.3.2. Procesos estables y estandarizados

Las empresas pueden lograr una mejora dramática como la revisión de las normas periódicamente, recopilar y analizar datos sobre los defectos, y el fomento de los equipos para llevar a cabo las actividades de resolución de problemas (Kilian, 1992). Para generar una mejora se debe poner bajo control los desperdicios a los cuales se encuentran los procesos (Gonzales Escobar, 2009). La conexión entre las normas de calidad y en su aplicación se puede utilizar de varias maneras. Uno de los métodos probados fue a través de modelo de ciclo de Deming que se conoce como la rueda de Deming o PDCA (Kartikowati, 2013).

El círculo PDCA es admitido a surgir a principios de la disciplina de producción que fue iniciado por Shewhart y luego desarrollado por Deming en 1950 como el método

de mejora continua de la calidad (Sallis, 2005; Dahlgard et al., 2007). El ciclo PDCA comprende las modalidades de trabajo de cuatro pasos que son útiles para reparar un proceso, incluyendo el proceso de analizar un problema que se emplea generalmente en la gestión de la calidad (HCI, 2010). En base a sus principios, el ciclo PDCA según Masaaki (1991), es un proceso de consecución de la norma indicada, la revisión de las normas, y luego cambiar las especificaciones de los nuevos estándares de calidad que son mejores (Sallis, 2005). El ciclo PDCA se describe en la Figura 2.5.

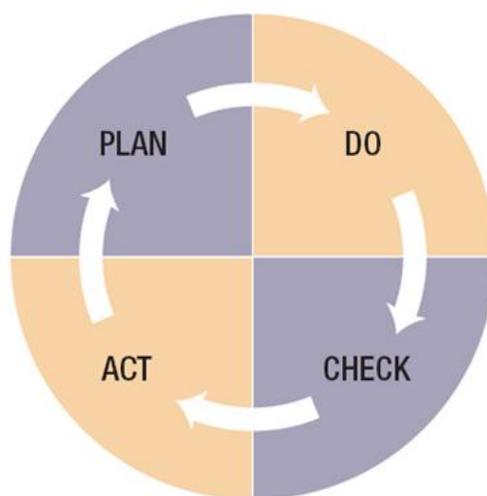


Figura 2.5. *Ciclo PDCA (HCI, 2010).*

PLAN (planear) se refiere a la selección del tema, la comprensión de la situación actual y el establecimiento de objetivos y análisis de los datos con el fin de identificar las principales causas; DO (hacer) es el proceso de establecer contramedidas basadas en el análisis de datos; CHECK (verificar) está confirmando los efectos de las medidas, y ACT (actuar) es establecer o revisar las normas para prevenir las recurrencias, y la revisión de los procesos anteriores y de trabajo en los próximos pasos (Imai, 1991). Después el mismo ciclo PDCA evoluciona al ciclo SDCA (véase Figura 2.6).

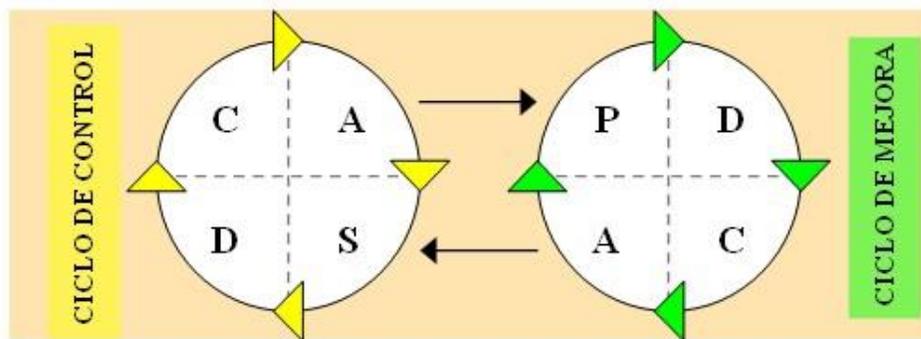


Figura 2.6. Conversión del PDCA al SDCA (HCI, 2010).

Un exitoso ciclo PDCA, entonces es seguido por el ciclo SDCA en donde 'S' representa la normalización y el mantenimiento de la nueva situación. Por lo tanto, es sinónimo de mejora PDCA y SDCA significa mantenimiento (Imai, 1991).

2.3.3. Gestión Visual

Ono (1978) define las tecnologías de gestión visual como una tecnología para aclarar y mostrar una diferencia entre las condiciones normales y las condiciones inusuales de un sistema de producción. Monden (1986) comenta que las tecnologías de gestión visual apoyan al just-in-time y Jidoka que son mecanismos importantes de TPS. Tezel (2009) recopila información de varios autores para completar la Tabla 2.2 mostrada a continuación.

Función	Definición	Práctica alternativa
Transparencia	La habilidad de un proceso de producción para comunicarse con la gente (Formoso <i>et al.</i> , 2002)	Información de ayuda en las personas y sobre las estanterías
Disciplina	Hacer el hábito de procedimientos correctos y mantenidos propiamente (Hirano, 1995)	Advertencias, regañones, afijaciones a castigos, descuidos. Etc.
Mejora continua	Los procesos de una amplia organización deben estar enfocados a innovaciones incrementales (Bessant y Francis, 1999)	Organizaciones estáticas o saltos a grandes mejoras a través de inversiones considerables.
Facilitación del trabajo	Intento conciso para física y mentalmente ayudar a las personas en sus esfuerzos de rutina.	Expectativas en la gente para desarrollar bien su trabajo sin ayuda alguna.

Entrenamiento en el trabajo	aprendizaje mediante la experiencia o integrando trabajo con aprendizaje (Summer <i>et al.</i> , 1999)	Prácticas de entrenamiento convencional o entrenamiento no ofrecido.
Creación de una propiedad compartida	Un sentimiento de positivismo y siendo psicológicamente alcanzado hacia un objetivo (Pierce <i>et al.</i> , 2001)	Direcciones gerenciales para cambiar esfuerzos, visión y creación cultural.
Administración y hechos	Uso de hechos y datos basados en estadística (Gunasekaran <i>et al.</i> , 1998)	Administrar por juicio subjetivo y términos vagos.
Simplificación	Esfuerzos constantes en monitorear, procesar y visualizar el sistema completo de información.	Esperar que la gente monitoree, procese y entienda el sistema completo de información.
Unificación	Remover parcialmente los cuatros principales límites y crear empatía dentro de la organización.	Fragmentación del desempeño de "este no es mi trabajo"

Tabla 2.2. *Funciones de la gestión visual (Tezel, 2009).*

En distintas empresas se piensa solamente en gestión visual como solo colocar anuncios, pero de acuerdo a las funciones mostradas en el marco anterior, su trabajo sirve para apoyar y facilitar las labores de los empleados.

2.3.4. Producción nivelada (HEIJUNKA)

Producción nivelada es otra de las herramientas claves para el funcionamiento del sistema de producción de Toyota. Esta herramienta es utilizada para nivelar las producciones programadas y los kanban en orden de alcanzar a cubrir los diferentes productos a fabricar (Furman, 2005). La palabra heijunka proviene del vocablo japonés y significa "suavizar" (Giordano y Schiraldi, 2013).

Prácticamente las herramientas pasadas son la base de la casa de manufactura esbelta. Los pilares son JIT y JIDOKA, dejando en el centro la mejora continua.

2.3.5. Mejora continua

Caffyn (1999) define la mejora continua como "una participación masiva en la toma de cambios relativamente pequeños que se dirigen hacia los objetivos organizacionales de manera continua." La mejora continua ha sido reconocido por muchos años como una de las principales fuentes de ventaja competitiva, y es inherente a muchos movimientos recientes de gestión tales como la Teoría de las Restricciones (Goldratt y Fox, 1986)], Six Sigma (Pande *et al.*, 2000) y el sistema de

Producción de Toyota (Liker, 2004). Incapacidad para aplicar eficazmente programas de mejora continua es vista por muchos académicos y profesionales como una de las razones por las que las empresas occidentales no se han beneficiado plenamente de los conceptos de gestión japoneses (Berger, 1997). Savolainen (1999) señala que la mejora continua es un proceso complejo que no se puede lograr durante la noche, sino que implica el aprendizaje considerable y puesta a punto de los mecanismos utilizados.

2.3.6. Jidoka (Automatización con toque humano)

Jidoka puede tener varios significados. Puede significar "la automatización con la inteligencia humana" (autonomation) o también se refiere a la práctica de la detención de una línea manual o proceso cuando algo va mal (Strategos, 2013). Jidoka tiene otro objetivo clave: separar la obra humana de trabajo de la máquina y garantizar que las máquinas, equipos, software tienen la capacidad de detectar condiciones anormales y pararse por lo que no se producen defectos (Ganatra y Varia, 2013).

Este pilar de la casa de la manufactura esbelta contiene herramientas como son:

Kanban. Es una palabra japonesa que significa "señal" o "tarjeta" (Guneri et al., 2009) y en estas tarjetas contiene información sobre número de las piezas que se transportan, su ubicación y destino. Este sistema es visto como un sistema de información (Gupta et al. 1999). Para hacer funcionar un sistema es necesario contar con contenedores de kanban, así como tarjetas para retirar y sus repositorios (Suzaki, 1987).

Andon. En el TPS, el Andón es un dispositivo que de forma visual advierte de una anomalía. La señal puede ser tan simple como un color significativo que represente una situación fuera de lo normal (leanroots, 2013).

Poka Yoke. El término poka yoke puede ser traducido directamente como "prueba de error" y se refiere a la aceptación de que el error humano es inevitable que se produzca, pero el enfoque de Poka-yoke hace imposible cometer errores - o al

menos advierte al trabajador de que se está produciendo un error (Treurnich et al., 2011).

2.3.7. Justo a tiempo (JIT)

El sistema de producción JIT está diseñado para asegurar que los materiales o suministros lleguen a una instalación sólo cuando son necesarios para que los costes de almacenamiento y por tenencia se reducen al mínimo. El sistema JIT requiere una importante cooperación entre el proveedor y el cliente (Gueri *et al.*, 2009). JIT generalmente ha sido visto como una técnica de reducción de inventario que se puede utilizar para reducir el nivel de existencias en un proceso de producción (Spencer et al., 1994).

2.4. Cambio de dado en tiempo de un dígito (SMED)

Existen herramientas usadas para la reducción de tiempos de cambio de herramental como el algoritmo de Brooks (Sousa et al, 2009) que es un método de algoritmo heurístico basado en reglas de prioridad y consiste en la programación del uso de recursos restringidos. Éste método puede ser usado en varios escenarios, por ejemplo donde se tenga una serie de operaciones de configuración y el número de operaciones es relevante, además de tener precedencia en las operaciones y limitaciones humanas. Otra herramienta es el sistema SMED creado por el Dr. Shigeo Shingo y es definida, según varios autores como: uno de los métodos de producción esbelta para reducir los desperdicios en los procesos de fabricación (Tharisheneprem, 2008), el corazón de la producción Justo a Tiempo (Schmidt, 1997), reducción de tiempo al mínimo valor posible en un cambio de configuración (Sousa et al., 2009). Por otro lado Shingo (1993) lo refiere como la teoría y técnicas para realizar operaciones de preparación en menos de diez minutos. Para efectos de este trabajo, se trabajará con el sistema SMED del Dr. Shingo. El concepto de SMED no es cortar el tiempo de preparación, pero si desarrollar más preparación en el mismo tiempo. Con los cambios rápidos podemos reducir el tiempo gastado en las preparaciones y también incrementar la flexibilidad en el sistema de producción.

2.4.1. Orígenes de SMED

En 1950 Shingo descubrió en la fábrica Toyo Kogyo, que el intercambio de 800 toneladas de prensa se retrasó debido a un tornillo que faltaba de las piezas que producen desde el lote anterior. Se entiende entonces que debería tener dos tipos de operaciones en el proceso de cambio: por un lado, las operaciones que se deben realizar con la máquina en funcionamiento, Shingo llama a esto actividades de configuración externa. Las actividades que requieren la máquina y para que sea inactivo mientras que se realizaron, denotadas como configuración interna. En 1957 Shingo mejoró la metodología SMED cuando al colocar una mesa adicional en una máquina de la empresa Mitsubishi, reduce significativamente el tiempo de instalación. También descubrió que era posible convertir algunas de las tareas de configuración internos para las operaciones de configuración externos.

La metodología SMED consta de 4 etapas conceptuales, con la primera correspondiente a la documentación de las actividades de configuración o el estudio de cambio actual como se le llama.

A pesar de que no se pueda reducir el número de cambios de *configuración* en las máquinas, sí es posible reducir los tiempos radicalmente con la implementación de cambios en pocos minutos (Shingo 1993). Una capacidad de cambio rápido es reconocido como un requisito previo y esencial para la fabricación flexible y que responda a los lotes pequeños (McIntosh et al., 2007).

2.4.2. Paradigmas en los procesos de cambio

En el pasado, los cambios de moldes estaban basados en diferentes estrategias como son: en las que implicaban destreza, los operadores tenían que tener habilidades necesarias para montar y desmontar los dados a cambiar. Este tipo de estrategia tenía el inconveniente de necesitar trabajadores especializados en los cambios y no siempre se era eficiente. El segundo tipo de estrategia es el de producir grandes lotes, en este caso los fabricantes producían grandes cantidades de un mismo producto y con esto evitaban la fatiga de tener que hacer cambios de herramientas, así el efecto del tiempo de cambio de útiles es pequeño al dividirse

por el total del tiempo por operación del lote. Esta estrategia contaba con el inconveniente de no poder tener una producción flexible. Por último la estrategia de los lotes económicos implica volver a fabricar una vez que se haya llegado a una cierta cantidad de stock y los costos de inventario no fuesen altos (Shingo, 1993).

2.4.3. Aplicación de SMED

Estudios previos de aplicación de cambios rápidos son:

1) Implementación de fase 2 de SMED a máquina inyectora de plásticos: El proceso de inyección funciona fundiendo resina por medio de un usillo y éste es inyectado a un molde. Para que la resina pueda correr a través del molde, el molde debe estar calentado a una temperatura adecuada para que se obtengan buenas coladas. La aplicación de SMED se dio en emplear un pre-calentamiento pasando por agua caliente a través de un tubo térmico a los moldes antes de ser montados en las máquinas. Esta mejora fue eficiente por su simplicidad y por la baja inversión de tan solo \$ 826 dólares (Shingo, 1993).

2) Reducción de tiempos de cambio en una compañía de dispositivos eléctricos: Una empresa dedicada a la fabricación de dispositivos eléctricos cuenta con una máquina de soplado y es identificada como el cuello de botella del proceso. El objetivo de la reducción de tiempo de configuración es primordialmente poder ser más flexibles disminuyendo los tamaños de lotes y decrementando los tiempos de entrega. El primer paso fue identificar los puntos “cruciales” de configuración para poder reducir sus tiempos. A partir de la identificación de los puntos de referencia a reducir, se empleó el sistema SMED obteniendo un 50% en reducción de tiempo, el cual un 10% se debió a la anulación de tareas y un 40% al realizar actividades en paralelo (Fritsche, 2011).

3) Fungibilidad y conmutación rápida: Este ejemplo cuenta con un cuello de botella en la entrega de producto al consumidor, identificado como una máquina de cinta y carretes con la función de empaquetar paquetes de PLCC de tubos de plásticos en rollos. El mayor énfasis se dio en la bobina de embalaje PLCC asumiendo una partición de 19 tornillos de fijación y partes de desguace, teniendo un total de 85

minutos de tiempo en cambio. Aplicando SMED el ahorro se dio en el espacio reduciendo el número de máquinas en la fábrica de 5 máquinas a 2 máquinas (el ahorro de espacio del 50 %). Además de esto, la ventaja más grande de la puesta en práctica claramente fue probada sobre la productividad del 50 % (Tharisheneprem, 2008).

3. METODOLOGÍA

La investigación es muy útil para distintos fines; crear nuevos métodos, diseñar soluciones, evaluar si se han hecho bien las cosas o resolver problemas (Sampieri et al., 2010).

La metodología de este trabajo inicia con un alcance de tipo exploratorio, empezando con la búsqueda de información sobre diferentes ejemplos de reducciones en cambios de moldes o herramentales, este proceso se realizó en el capítulo dos. Después la metodología se seguirá un enfoque descriptivo para conocer la situación actual del proceso de cambio de molde, así como sus barreras y delimitaciones. Finalmente se transformará a un enfoque explicativo, en donde se dará a conocer los resultados de la investigación, al igual que la documentación de la misma, y conocer de dónde provienen dichos resultados.

En este capítulo se propone una metodología que consta de 6 pasos a seguir para resolver la problemática de los cambios de moldes.

3.1. Estructura metodológica

En el corporativo IAC existe una metodología utilizada en los eventos *kaizen* (mejora continua en japonés), la cual se lleva a cabo en 10 pasos, empezando por entender el objetivo del proyecto hasta terminar con la presentación de resultados, para la solución de problemas (IAC, 2014). Los 10 pasos son:

1. Clarificar el objetivo
2. Entender situación actual
3. Visualizar la condición
4. Determinar el objetivo deseado
5. Desarrollar una estrategia kaizen
6. Generar Lluvia de ideas
7. Implementar plan kaizen en piso
8. Presentar Resultados
9. Documentación del caso
10. Siguiendo pasos

Tomando como plataforma esta metodología, se decide formar la siguiente base de trabajo. La nueva metodología empieza justificando el uso de la herramienta, evalúa las condiciones, forma un equipo de trabajo, implementa la herramienta y finalmente

documenta el caso de estudio. Quedando la estructura de la metodología como se muestra en la Figura 3.1.

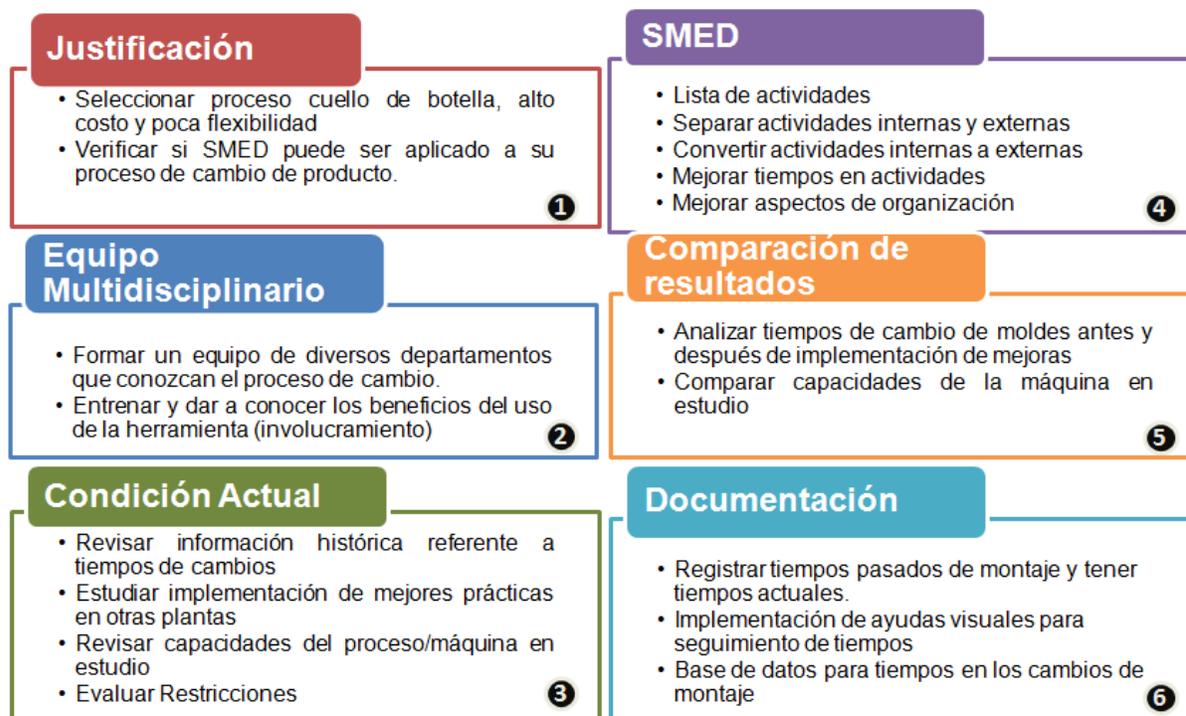


Figura 3.1. Metodología para implementar SMED.

3.1.1. Paso 1. Justificación

En primera instancia se da a conocer cuando usar SMED: esta herramienta permite desarrollarse prácticamente en cualquier situación en donde se tenga que hacer cambios de herramientas, cambios de productos, cambios de escenarios, de servicios, etc. Gracias a su flexibilidad esta herramienta se puede adaptar plenamente al proceso de moldeo por inyección.

SMED ayuda a reducir los tiempos no productivos y generar mayor tiempo productivo, repercutiendo en el incremento de la capacidad de producción. También se logra reducir los lotes de producción convirtiendo al proceso más flexible para hacer frente a los cambios de las demandas y generar espacio en piso de producción. Finalmente ayuda a estandarizar los procesos de cambio de moldes, estableciendo métodos de trabajo cómodos y seguros (Espin, 2013).

Finalmente se recomienda aplicar SMED si el proceso cumple con los tres factores siguientes: el proceso representa el cuello de botella de la producción, el proceso no es tan flexible para cumplir con la demanda y deben de existir altos costos por paros.

3.1.2. Paso 2. Equipo multidisciplinario

El equipo a formar debe ser multidisciplinario para obtener la mayor cantidad de observaciones referente a las condiciones actuales del proceso de cambio de molde y en la implementación de mejoras. Igualmente, se llevará a cabo cursos sobre el uso de la herramienta SMED y su aplicación en la industria, el entrenamiento se dará a todo el personal involucrado en los cambios de molde así como a los miembros del equipo. Para lograr las capacitaciones se utilizarán presentaciones y videos de situaciones reales y aplicaciones de la herramienta SMED. En los entrenamientos también se darán a conocer las justificaciones del porqué se escoge a SMED como la herramienta ideal para las reducciones de tiempo.

El equipo debe estar formado con personal de todos los niveles de la organización; gerentes, superintendentes, supervisores, ingenieros, técnicos, operadores y áreas de soporte. Tal vez no todos estén involucrados en el cambio, pero si deben estar involucrados en crear una nueva cultura.

3.1.3. Paso 3. Condición actual

El equipo de trabajo deberá estudiar los cambios de molde para analizar las deficiencias en el proceso y encontrar los huecos entre el proceso ideal y la situación real. Para hacer los estudios se investigará información histórica de los tiempos, si ésta existe, así como procedimientos de cambios para los montajes, estudios históricos, tendencias y causas de tiempos muertos, etc.

Dar a conocer los procesos con los mejores tiempos de montaje y evaluar condiciones económicas para saber si se puede asimilar las condiciones de trabajo, o incluso superar.

Hacer un levantamiento de información referente a las capacidades del proceso/máquina, así como sus tasas de tiempo muerto.

Enlistar las restricciones que existen en todo el proceso de cambio. Empezando por las restricciones física, restricciones de seguridad, monetarias para comprar equipos y finalmente restricciones del proceso.

3.1.4. Paso 4. SMED

De acuerdo a las necesidades del proceso de cambio de molde en el área, la herramienta SMED cuenta con una serie de etapas propia que se adapta perfectamente a las condiciones actuales del sistema de cambios. Por tal razón, se trabajará bajo el siguiente esquema propuesto por Shingo (1985) y modificado por Sugai et al. (2007). La Figura 3.2 muestra el esquema completo.

Etapa preliminar

A través de la filmación se planea documentar el proceso de cambio de molde con el fin de analizar y cronometrar las actividades del cambio. Debido a que existen variaciones en los tiempos de cambios, el proceso de filmación se tendrá que realizar durante varios montajes hasta alcanzar cubrir todos los aspectos que intervengan en el proceso de cambio de molde.

Una vez obtenidos los tiempos desglosados de los cambios de moldes y la cantidad de actividades que este proceso conlleva, se sacarán datos estadísticos como la media y la varianza del proceso y observar si los tiempos de montajes son similares o diferentes. De los mismos tiempos se obtendrá un listado de actividades realizadas en los cambios y se darán a conocer al equipo de trabajo y técnicos de montaje para que todos conozcan la situación actual del proceso de cambio.

Se planea utilizar otra herramienta de manufactura esbelta, como es el diagrama de recorrido, para conocer si las actividades que realizan los técnicos, tanto internas como externas, generan largos desplazamientos

Se debe hacer un análisis de la maquinaria y el molde, sobre las condiciones que ambos se encuentran, así como de las refacciones que se cuentan. Esto con el fin de conocer si existen reparaciones que se deban de hacer y puedan generar un costo, al igual que saber si será necesario comprar más refacciones.

Etapa 1: Separación de actividades internas y externas

Después de que el equipo conoce y entiende las actividades que se desarrollan en el proceso de cambio, éstas deben ser separadas de acuerdo a la teoría del SMED; actividades internas y actividades externas del proceso de montaje. De esta manera, el equipo será capaz de enfocarse en las actividades que más tiempo requieran y que tienen oportunidad de mejora.

El equipo de trabajo debe tener muy bien en claro cuáles son las actividades internas y cuáles son actividades externas del proceso. De esta manera los miembros del equipo podrán aceptar actividades que son externas, en la realidad están siendo realizadas en el momento en que la máquina se encuentra parada. Haciendo obvias las operaciones de preparación y transportes que pueden realizarse mientras la máquina funciona, el tiempo necesario para la preparación interna, con la máquina parada, puede usualmente reducirse de un 30 a un 50 por 100.

Etapa 2: Convertir actividades internas a externas

Además de trabajar con el listado de actividades o pasos en el proceso de cambio, se trabajará también con listados de especificaciones de molde, herramientas, parámetros, etc. Con el objetivo de encontrar actividades que traslademos de internas a externas.

Como parte del proceso de parámetros del molde, se evaluarán los tiempos de calentamiento y enfriamiento que requieren los moldes, con el fin de justificar la compra de pre-calentadores u otros dispositivos que ayuden a la conversión de actividades.

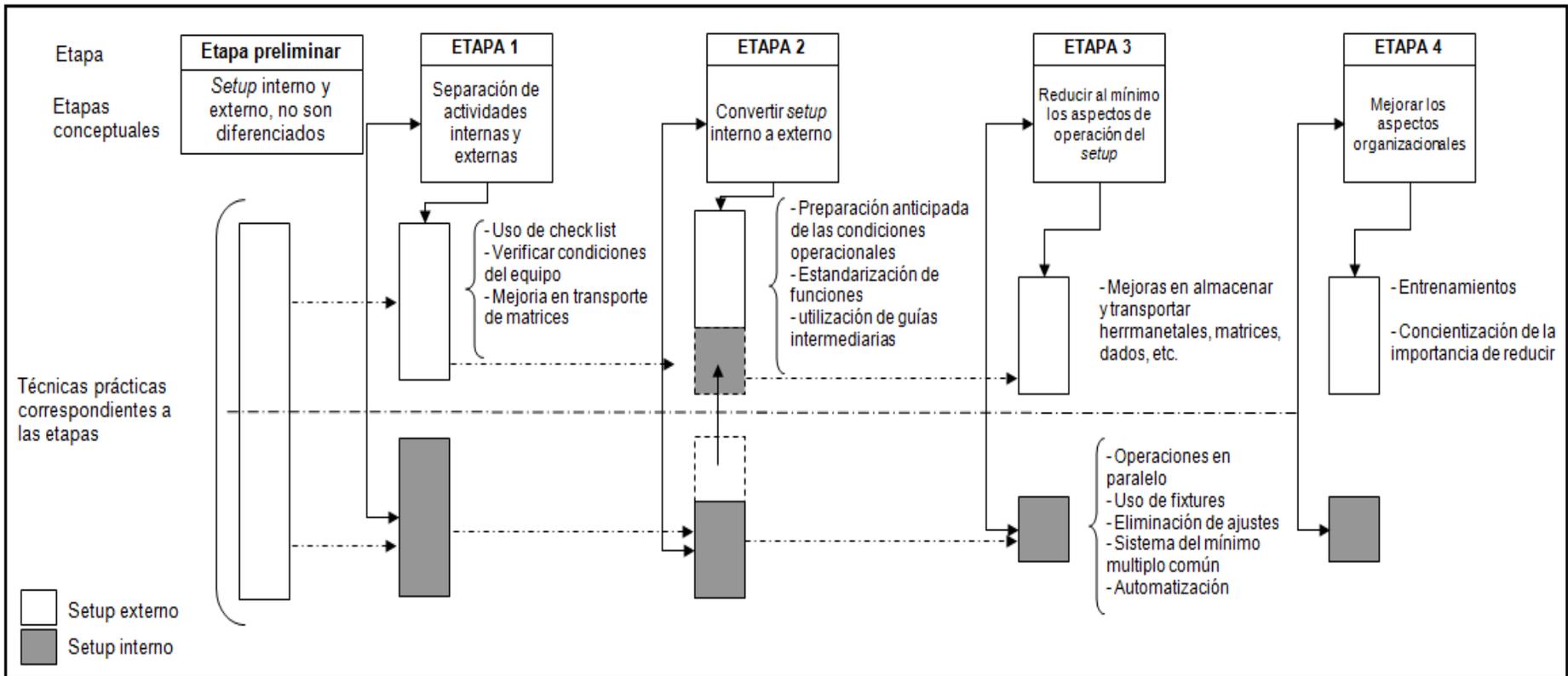


Figura 3.2. Fases del SMED (Sugai et al., 2007).

Etapa 3: Reducir al mínimo los aspectos de la operación

En este punto se busca la optimización de todas las operaciones, tanto internas como externas, con el objetivo de acortar al máximo los tiempos empleados. Los tiempos de las operaciones externas se reducen mejorando la localización, identificación y organización de útiles, herramientas y resto de elementos necesarios para el cambio. Para la reducción de los tiempos de las operaciones internas se llevan a cabo operaciones en paralelo, se buscan métodos de sujeción rápidos y se realizan eliminaciones de ajustes.

Esta etapa es de alto nivel de detalle y, aunque también requiere de mucha imaginación en el diseño de dispositivos y elementos de sujeción novedosos. Usando lluvia de ideas por parte de los miembros del equipo, se desarrollarán mejoras en el proceso.

Etapa 4: Mejorar los aspectos organizacionales

Finalmente establecido el nuevo método de trabajo, los estándares requeridos, los tiempos de cambios, la forma de trazabilidad de los tiempos y las responsabilidades de las personas que intervienen en los cambios de molde; El trabajo debe ser presentado al grupo gerencial.

Los gerentes, los miembros del equipo y las personas involucradas en los cambios de molde, entiendan la importancia de implementar reducciones de cambio de moldes y que a su vez, se pueda replicar a procesos similares dentro de la compañía.

3.1.5. Paso 5. Comparación de resultados

La forma de comprobar las mejoras aplicadas será a través de tiempos de cambio de molde. Para esto se empleará la herramienta de estudio de tiempos, así como desarrollar los diagramas de recorrido para los técnicos encargados en los cambios y finalmente mostrar gráficos sobre las capacidades de los procesos de montajes antes y después de SMED.

3.1.6. Paso 6. Documentación

Se hará uso de una cámara de video para registrar los montajes; debido a que se deben de cubrir todas las actividades y contratiempos que sucedan en el proceso de cambio. Se guardarán todas las filmaciones posibles antes y después de las mejoras para que los miembros del equipo contemplen en su totalidad la situación actual como la aplicación de las mejoras.

Registros de estudio de tiempos. Estos documentos servirán para guardar los registros de los tiempos que los técnicos realizan al momento de realizar sus actividades. También cumplirán con la función de hacer más fácil la separación de actividades internas y externas, ya que en ellas se tendrán plasmadas todos los pasos realizados durante los cambios de molde.

Pizarrón de montajes. Los tiempos de los montajes serán plasmados en un pizarrón para que cualquier persona que pase por la máquina conozca el progreso de y se puedan reconocer fácilmente si se cumple con los estándares requeridos. También ayudará a identificar tendencias en los tiempos de cambios.

4. IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se presentará el caso de estudio apoyado en la metodología presentada anteriormente. Siguiendo los pasos y usando la herramienta SMED, el equipo de trabajo encontrará oportunidades de mejora que ayudarán a optimizar el proceso de montaje (Figura 4.1).

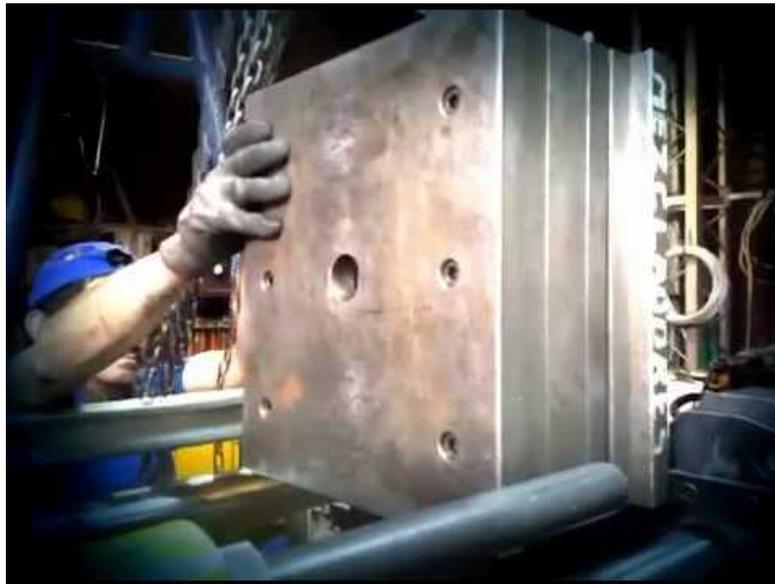


Figura 4.1. *Proceso de montaje.*

4.1. Máquina de moldeo por inyección no. 11

Como se dio a conocer en el capítulo 1, el trabajo se realizará solamente en el área de moldeo (véase Figura 4.2). Moldeo es considerado el corazón de la planta ya que prácticamente se produce el 90% del total de piezas que se llegan a ensamblar en las líneas finales. La distribución de las máquinas está de acuerdo a las unidades de negocio de la planta, es decir, todos los cuadrantes cuentan con prensas de todos los tonelajes para la fabricación de los componentes de las partes ensambladas.

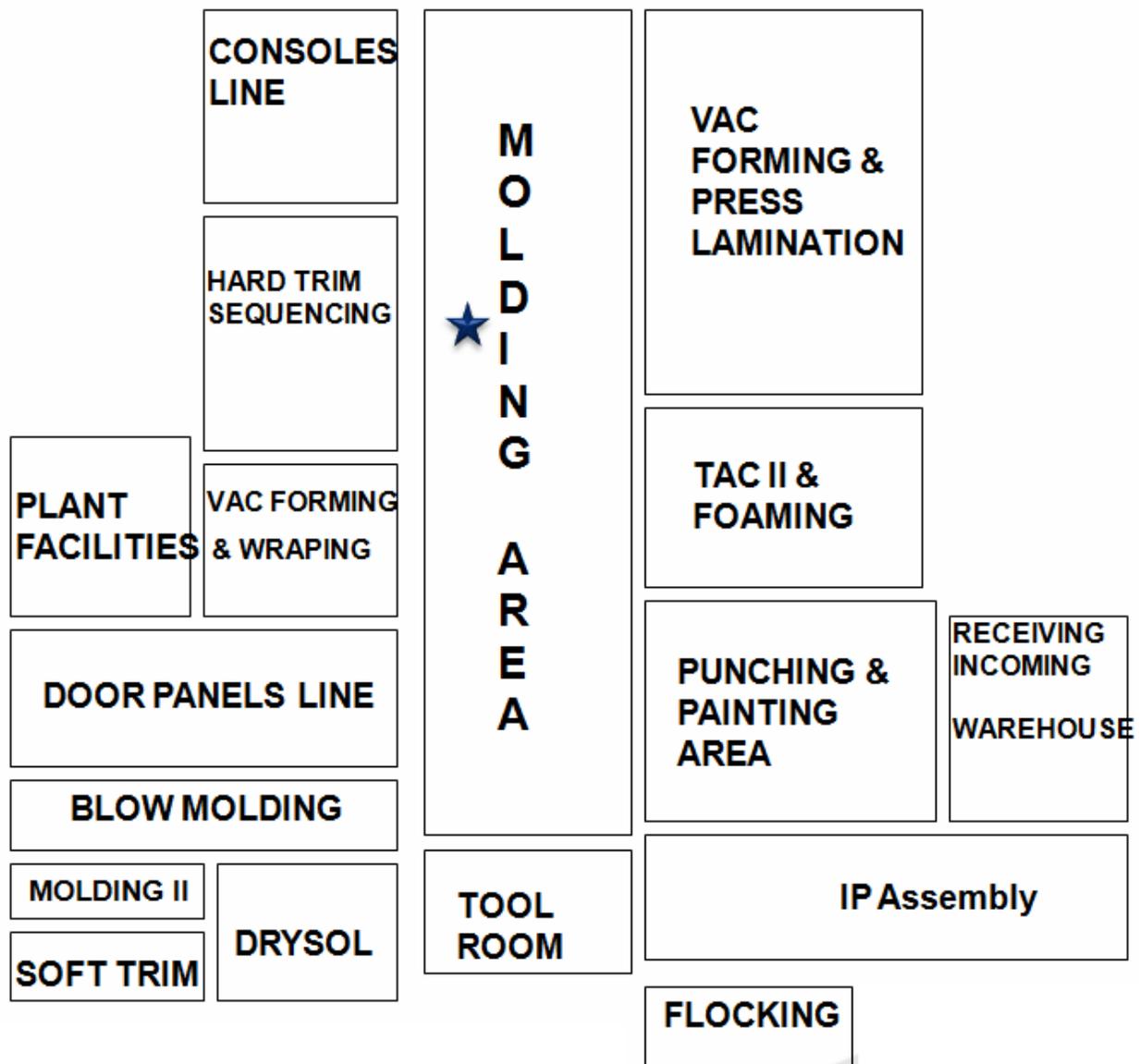


Figura 4.2. Distribución de planta en empresa IAC.

La prensa no. 11 (Figura 4.3) se encuentra en el cuadrante no. 1 (se le conoce cuadrante a cada área de la unidad de negocios de moldeo) junto con otras 15 máquinas más. Esta prensa comparte junto con la prensa no. 10 y 21 el tonelaje más alto en toda la planta, hablando de máquinas inyectoras de plástico, teniendo una fuerza de presión de 3,500 toneladas.



Figura 4.3. Máquina inyectora de plástico no. 11.

De acuerdo al departamento de ingeniería, la máquina se encuentra al tope de su utilización o capacidad, lo que significa que no se recomienda correr otro molde en la prensa ya que no se cubriría la demanda solicitada.

4.2. Paso 1. Justificación

Además de los puntos tocados en el primer capítulo; Seleccionar un proceso que funja como cuello de botella, alto costos y poca flexibilidad, Spin (2013) recomienda usar SMED si se desea cumplir lo siguiente:

1. Convertir tiempo no productivo en productivo: En la máquina no. 11 se cuenta con un total de 1 cambio de molde por día. Esto implica que se pierda por lo menos 6 horas productivas a la semana. Si las actividades del montaje se redujeran al mínimo, se ganaría tiempo para abrir capacidad en la máquina. Con la conversión de actividades internas a externas, SMED permite generar más tiempo productivo.
2. Reducir lotes de producción: Si se reduce el tiempo no productivo del montaje se gana tiempo productivo y de esta manera poder realizar corridas más cortas y

aumentar la flexibilidad de la prensa, al mismo tiempo que se puede reducir el inventario.

3. Estandarización de procedimientos: Establecer métodos de trabajos seguros y confiables para todo el personal involucrado en el proceso de cambio de molde. Además de estandarizar las refacciones que se usen en la prensa cuando se tenga que fabricar otros sustratos de otros moldes.

4.3. Paso 2. Equipo multidisciplinario

Como parte de la estrategia, se aprovecha la sinergia que se tiene a nivel México operaciones, en la cual se está poniendo en práctica una estandarización en todas las plantas que cuenten con operaciones de moldeo por inyección. Para lograr este propósito, se cuenta con un grupo especializado (Figura 4.4) en recolectar las mejores prácticas de todas las plantas en cuestión de procesos de montajes.



Figura 4.4. *Equipo multidisciplinario SMED, nivel México.*

En planta Hermosillo con soporte de varios departamentos como lo son: ingeniería, procesos, producción y mejora continua, además de contar con el soporte de la gerencia, se forma un equipo con el objetivo de recibir entrenamiento enfocado al uso de la herramienta SMED.

Este equipo de trabajo es el encargado de llevar a cabo los estudios y análisis del sistema de cambios para la prensa no. 11. Para efectos de este trabajo, el equipo multidisciplinario formado en Hermosillo, apoyará a evaluar las condiciones actuales en la prensa no. 11 así como también serán participes en la implementación y seguimientos de mejoras.

Durante este proceso de formación de equipo se explican los objetivos y la importancia de lograr reducciones en los cambios de molde. Entre la información presentada se señalaron los siguientes puntos:

1. Crear una cultura de mejora continua especializado en cambios de herramental.
2. Beneficios de aplicar un sistema estandarizado con la herramienta SMED
3. Costo de tener una máquina inyectora de 3500 toneladas sin operar.
4. Tener los mejores tiempos de cambios a nivel México. Presentar comparaciones con otras plantas.
5. Involucramiento de pertenecer a un proceso de cambio.

Finalmente el equipo se apoyó del proceso de mejora a nivel México operaciones en cuestión de SMED, y como buena práctica se dieron a conocer un listado de actividades que puedan ayudar a reducir los tiempos del montaje (véase Tabla 4.1.). Del total de 27 buenas prácticas que pueden ser implementadas para reducir los tiempos de montaje, en la máquina no. 11 ya se tiene una implementación de 5 ideas; tener la carpeta con la información del molde (idea 24), el programa de capacitación para el equipo SMED (idea 26), implementación de pizarrón para seguimiento de cambios de moldes (idea 17), la implementación de EOAT para cambios rápidos (idea 3) y las conexiones rápidas para las mangueras (idea 22).

no.	Descripción de la Práctica	no.	Descripción de la Práctica	no.	Descripción de la Práctica
1	Habilitar e identificar todos los EOAT y crear stock de refacciones (no "canibalizar").	10	Codificar con colores y numeros en mangueras y conectores de valvulado	19	Marcar centrado de molde para grua
2	Colocar arbol c/ identificaciones a pie de maquina para EOAT	11	Organizar mangueras y cableado maquina-molde.	20	Marcar cuerdas de platinas dañadas de color rojo
3	Implementar cambios rapidos para EOAT	12	Identificacion de Herramientas de procesos	21	Colocar trinquete de seguridad lado no operador
4	Implementar "Tamalera" para purga de agua	13	Identificacion de carros de herramientas	22	Contar con conexiones de aire para pistolas de impacto
5	Implementar uso 2 pistolas neumaticas de torque por pareja de montadores	14	Estandarizar tornillos candados molde	23	Estandarizacion de cables de controlador de temperatura
6	Estandarizar pistolas neumaticas a: SNAP-ON 2.8 Kg	15	Fijar 1 tornillo/candado a molde	24	Se deberá tener por carpeta por molde la información por planta
7	Habilitar area para almacenamiento de moldes, identificar y oficializar (lo mas cerca de IMM)	16	Desarrollar capacidad interna para reparacion barrenos p/ clampeo (insertos) en platinas	25	Marcar platina fija para la nivelacion y centrado de molde
8	Colocar "hoist ring" o armella	17	Pizarron/Pantalla para programacion de cambio de moldes	26	Programacion de capacitacion de estas practicas
9	Codificar con colores y numeros mangueras y conectores de molde	18	Implementar pizarron para el rastreo de tiempos de cambios de moldes y graficos de tendencia	27	Integral equipo multidisciplinario en liberacion de molde

Tabla 4.1. *Actividades para reducir tiempos de montaje.*

Dependiendo de los recursos que se cuenten y puedan ser proporcionados, el equipo decidirá qué actividades implementar para la prensa no. 11.

4.4. Paso 3. Condición actual

En distintas ocasiones se llega a pensar que el proceso de cambio solo es dependiente del departamento de procesos, a través de los montadores y el técnico de arranque de máquina. Pero la verdad radica en que el proceso de cambio es todo

un sistema que debe estar coordinado entre varios departamentos; desde un programador quien detona el cambio a través de la creación del programa de producción del área, pasando por un supervisor de manufactura que debe de juntar al equipo de montadores, técnicos, personal de producción, calidad, logística, mantenimiento y personal de reparación de moldes, para coordinar los tiempos y las necesidades de los cambios. La falta de comunicación y coordinación por parte de las personas involucradas en los cambios ha perjudicado en los tiempos programados de montajes. Se han presentado casos en donde se repiten actividades por parte de los montadores solo por el hecho de no comunicar las actividades realizadas por cada quien.

Como primer paso se empezó a investigar si existe documentación histórica referente a cambios de moldes. En primer lugar se encontró que para la máquina 11, se tiene cargado un total de 2.5 horas para cambio de molde en el documento oficial de capacidades de moldeo, este tiempo fue establecido a inicios de programas anteriores al modelo actual. Se descubrió que mediante un concurso de cambios rápidos en el área de moldeo, hace 8 años, se establecieron los tiempos de montajes que hasta la fecha están estipulados. Tomando en cuenta que en la actualidad se cuenta con mayores volúmenes de producción, mayores opciones de productos y las prensas no se encuentran en las mismas condiciones que hace 8 años, los tiempos de montajes no pueden reflejar al 100 por ciento la capacidad real de las prensas.

Otro hallazgo encontrado fue el hecho de que ningún departamento contaba con un seguimiento a los tiempos de cambios. El dato más próximo se encontraba en los reportes de producción en donde se cargaban los tiempos de montaje como tiempo muerto, pero la información no estaba bien documentada. Por lo que el equipo decidió colocar un pizarrón en la máquina (véase Figura 4.5), en donde serviría para apuntar los tiempos de montaje y observar tendencias. Lamentablemente este pizarrón no fue llenado por la gente de procesos, encargados de llenarlo, y se optó por retirarlo momentáneamente.

Figura 4.5. Pizarrón de cambios de moldes.

Debido a que la recolección de tiempos de montaje con la ayuda del pizarrón no resultó como se planeó, se decidió llevar a cabo una orden de trabajo, tomada del departamento de mantenimiento, de esta manera se apunta el tiempo en que la última piezas buena se fabricó y el tiempo en que la primera pieza buena de la corrida siguiente se produce. En la Tabla 4.2 se observan los tiempos tomados.

Muestra	Minutos	Horas	Muestra	Minutos	Horas	Muestra	Minutos	Horas
1	110	1.83	11	177	2.95	21	111	1.85
2	189	3.15	12	152	2.53	22	245	4.08
3	122	2.03	13	180	3.00	23	130	2.17
4	165	2.75	14	200	3.33	24	170	2.83
5	177	2.95	15	105	1.75	25	165	2.75
6	190	3.17	16	112	1.87	26	130	2.17
7	120	2.00	17	197	3.28	27	152	2.53
8	118	1.97	18	190	3.17	28	140	2.33
9	210	3.50	19	166	2.77	29	185	3.08
10	155	2.58	20	115	1.92	30	200	3.33

Tabla 4.2. Tiempos de cambio de molde en IMM 11.

En total se consiguieron tomar 30 muestras de las cuales los tiempos fueron plasmados en minutos y horas. El tiempo menor fue de 105 minutos (muestra 15) y el tiempo mayor fue de 245 minutos (muestra 22). En la siguiente gráfica (véase Figura 4.6) se muestra la tendencia de los tiempos tomados, además de la línea meta que supuestamente no se debe de exceder.

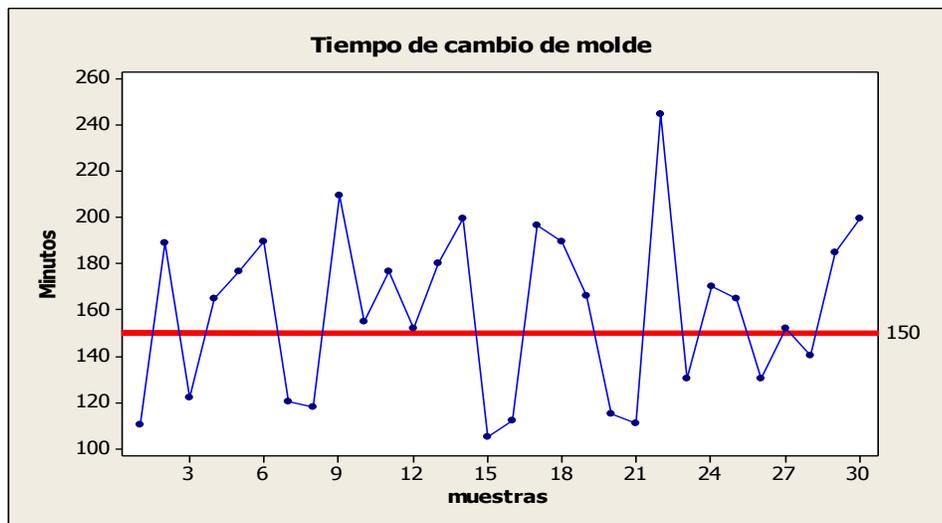


Figura 4.6. Tendencias de tiempos de montajes en IMM 11.

Se puede concluir que los tiempos no marcan una tendencia en específico, prácticamente se encuentran en zigzag la mayoría de los puntos (muestras) y en la mayoría de los casos (19 de 20 puntos) los tiempos de montaje superaron el tiempo límite permitido. En el siguiente histograma se muestra la curva de comportamiento de la muestra así como un cuadro de datos estadísticos indicando su media y desviación (véase Figura 4.7).

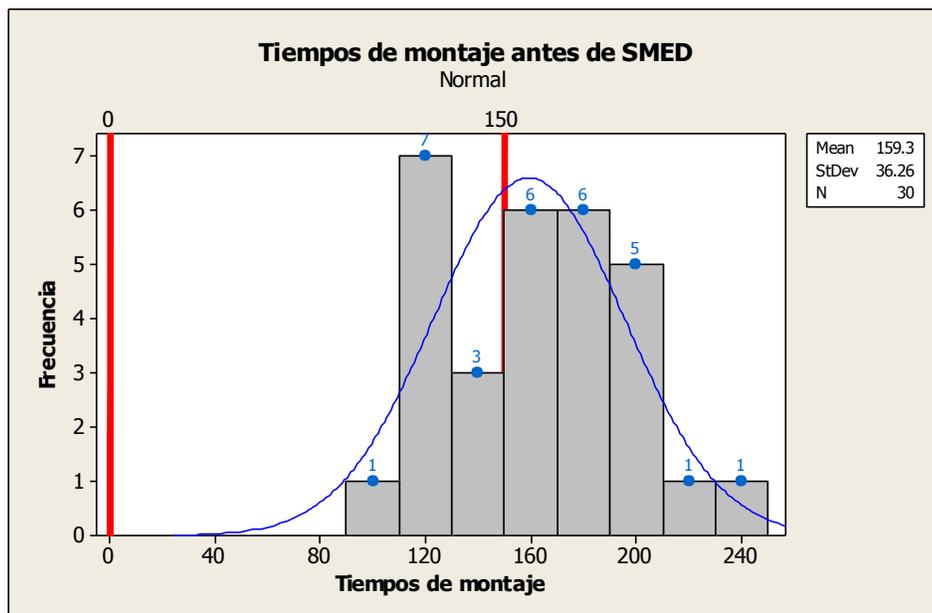


Figura 4.7. Histograma para tiempos de montaje.

El tiempo promedio de los montajes es de 159 minutos con una desviación estándar de 36 minutos. Se observa en el histograma que 19 tomas se encuentran por fuera del tiempo permitido y 11 se encuentran dentro de los 150 minutos. El ideal sería que la cola derecha de los tiempos de montaje quedara por dentro de los límites 0 – 150 minutos. Prácticamente ésta es la situación actual y se espera poder mover la curva hacia la izquierda del gráfico y así cumplir con el objetivo del trabajo.

Otro de los puntos que empezó a investigar el equipo, son las capacidades de la prensa no. 11. Se hizo una auditoria en piso de producción para validar si la información de home base es la misma que se presenta cuando la máquina está en funcionamiento. En la Tabla 4.3, se presenta un resumen sobre la capacidad anual de la prensa y el molde 13-101-01, en base a los datos obtenidos se puede inferir en la cantidad de sustratos que debe de producirse así como el costo anualizado que se generará por los cambios de los moldes.

Descripción	# molde	Tiempo Maq seman al al 85%	Cambio de moldes (min)	Montajes a la semana	Tiempo de ciclo (seg)	Tiempo de Set up (min/semana)	Car sets por tiro	85% Utilización
391 DEFROSTER/SWD DUCT	13-101- 01	6910.5	100	4	65	400	2	0-48
391 I/P SUBSTRATE	13-103- 02	6910.5	150	2	69	300	1	0.27
533 LOWER I/P RETAINER SUBSTRATE	13-100- 01	6910.5	150	2	69	300	1	0.24

Tabla 4.3. Información de capacidad para IMM no. 11.

En esta prensa, el molde 13-101-01 ocupa un 27% de capacidad. Como se puede observar en la Tabla anterior, el molde en estudio tiene el código 13-103-02 (renglón resaltado en rosa). Para este molde se tienen contemplado dos cambios de molde a la semana y un tiempo ciclo de 69 segundos por pieza. Esto representa anualmente lo siguiente:

- Tiempo máquina caído (por montaje): 14,400 minutos
- Costo por paro de máquina (por montaje): \$ 38,800 dólares

La información pasada es tomando en cuenta 48 semanas al año, sin paros durante la fabricación de los tableros (producción) y cumpliendo a tiempo los montajes.

En cuanto a las limitaciones; la distribución del área de moldeo está dividida en cuadrantes de los cuales cada uno cuenta con una grúa, que es la que se usa para mover, montar y desmontar los moldes. Por lo tanto, no se pueden realizar más de un montaje por cuadrante.

A pesar de contar con un documento en donde se explica ampliamente el proceso de montaje, éste no es llevado adecuadamente por los participantes de los cambios, y se debe a que la mayoría de los montadores y técnicos de procesos son gente con poca experiencia en el área, esta es una de las razones que los montajes se alargan en sus tiempos, además de que provoca que los cambios de molde tengan tiempos variables en sus procesos. Otro factor que afecta, son los tiempos cargados en la base de datos de ingeniería, los cuales se marcan tiempos de montajes que no están adaptados a las condiciones actuales del área, hasta el momento se tienen cargados tiempos de montajes que fueron obtenidos a principios de operación. Por otra parte, los problemas en las prensas son mayores y esto se debe a una falta de mantenimiento preventivo y en ocasiones correctivo, de acuerdo las palabras del jefe de mantenimiento del área de moldeo Manuel Villa (entrevista personal, 15 Enero 2013). Por último y uno de los grandes problemas que existen al momento de hacer los montajes es la pérdida de tiempo al momento de buscar las refacciones de los *brazo de robots* de robot, mangueras, chupones, tambos, herramientas, etc. Los recorridos que los montadores realizan en operaciones que no agregan valor al proceso de cambio, perjudican en el tiempo de montaje.

En la mayoría de los casos los montadores no cuentan con tiempo suficiente para planear los montajes, ya que en ocasiones se programan montajes al mismo tiempo y por restricciones de equipos, no se pueden realizar, ya que solo se puede realizar un montaje a la vez. También existe el problema que en ocasiones los moldes se encuentran demasiado lejos de sus puntos de ubicación original, provocando grandes pérdidas de tiempo al momento de llevarlos a pie de máquina.

Además de haber realizado la toma de tiempos de los montadores, el equipo encontró condiciones en el área, en la máquina y el molde, que no ayudan a desempeñar un correcto cambio de molde (véase Figuras 4.8.a, 4.8.b).



Figura 4.8.a. Sistema de valvulado sin identificación.



Figura 4.8.b. Árbol de brazo de robot sin identificación.

En la Figura 4.8.a. se observa que el sistema de valvulado, que lleva 12 conexiones, no se encuentra identificado y el montador encargado en conectar las mangueras debe de conocer muy bien qué tipo de manguera va en cada toma. Mientras que en la segunda Figura, existe un árbol para colocar los brazos de robots o *brazo de robots*, el cual tampoco se encuentra identificado y esto provoca que los montadores desconozcan la ubicación exacta para colocar estos brazos de robot.

Otros hallazgos encontrados son brazos de robots incompletos (Figura 4.9). Éste es uno de los mayores problemas del área, ya que el tener que reparar o construir uno brazo de robot lleva demasiado tiempo y casi siempre se realiza cuando la máquina está parada.



Figura 4.9. *Brazo de robot incompleto.*

El lugar en donde supuestamente deben de ir los moldes se encuentran en malas condiciones y no permite poder almacenar los moldes, las condiciones no son las óptimas para colocar moldes (véase Figura 4.10).



Figura 4.10. *Cama de moldes.*

Además de que la cama se encuentra incompleta, ésta a su vez está muy alejada de la máquina tardando el proceso de traslado de los moldes.

Otra de las actividades que retrasa los tiempos de montaje son el encontrar las mangueras correctas para embonarlas en las tomas correctas, este paso es parte del

proceso de valvulado. Tal y como se puede observar en la Figura 4.11, el montador pierde tiempo buscando las mangueras que debe conectar.



Figura 4.11. Mangueras desordenadas.

Las mangueras se encuentran en pleno desacomodo y el montador debe primero desenredar para después conectar.

Otro de los factores que impiden un buen funcionamiento de montaje, es el purgado del agua al momento de drenar las aguas de los moldes y la máquina. En la Figura 4.12 se puede observar que lo que los montadores usan como un sistema de drenado de agua, son solamente un tambor de plástico con una capacidad de 200 litros y una base con llantas.



Figura 4.12. Proceso de drenado de agua.

La alineación de los moldes en la prensa es un factor más que atrasa los montajes, en este caso el montador encargado de la grúa tiene que estar pendiente del acomodo del molde y para esto, en ocasiones, necesitan mover el molde a los en dirección “x” y “y”, lo que provoca que el simple hecho de centrar el molde en las placas se convierta en una actividad complicada (Figura 4.13).



Figura 4.13. *Centrado de molde.*

Estos fueron las condiciones actuales del proceso de cambio de molde que perjudican a que los tiempos de montaje se cumplan y que además presenten variación.

4.5. Paso 4. SMED

Etapa preliminar

Con la ayuda de una cámara de video se tomaron 5 repeticiones de montajes para poder definir e identificar el procedimiento más cercano a la realidad. Al momento de hacer las grabaciones se encontraron situaciones anormales al proceso de montaje, estas situaciones perjudicaron el tiempo y extendió considerablemente los cambios de los moldes. Las situaciones que se presentaron fueron; moldes ubicados en taller de moldes y no en área de moldeo, Gabinete EOAT sin refacciones para conectores rápidos o mangueras, fallas de grúa y moldes dañados. Finalmente se logró grabar

maneja la grúa le corresponden menos actividades ya que debe de estar pendiente del manejo de los moldes.

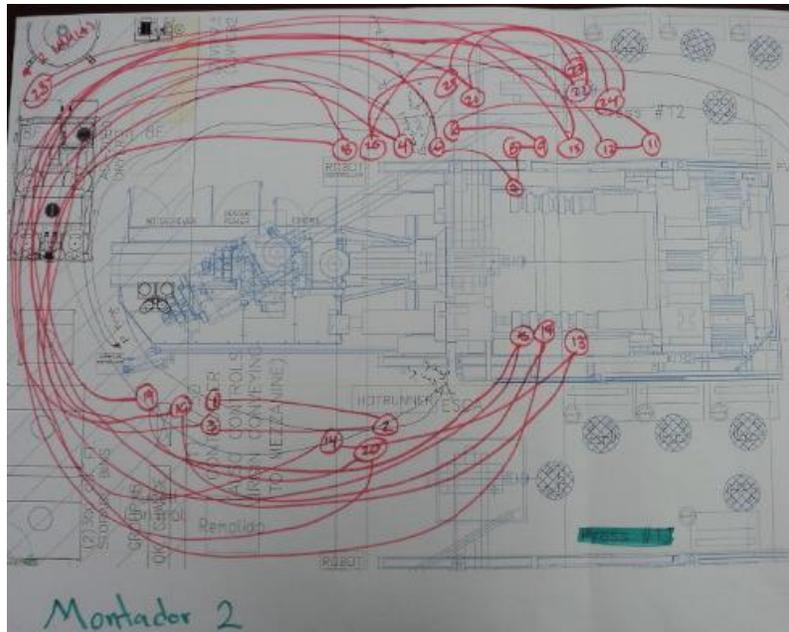


Figura 4.16. Diagrama de recorrido de montador 2.

El montador 2 a pesar de tener menor cantidad de actividades, éste debe de trasladarse mayor distancia, aproximadamente 117 metros, ya que las actividades que realiza son en ambos lados de la máquina y en ocasiones solamente son para poner o quitar candados.

Etapas 1. Separación actividades internas y externas

El equipo de trabajo después de analizar el video se enfocó en la separación de actividades (Figura 4.17). Para esta actividad se utilizó la táctica empleada en SMED, que es colocar cada actividad de los montadores en papeles y sus tiempos sobre una línea de tiempo.

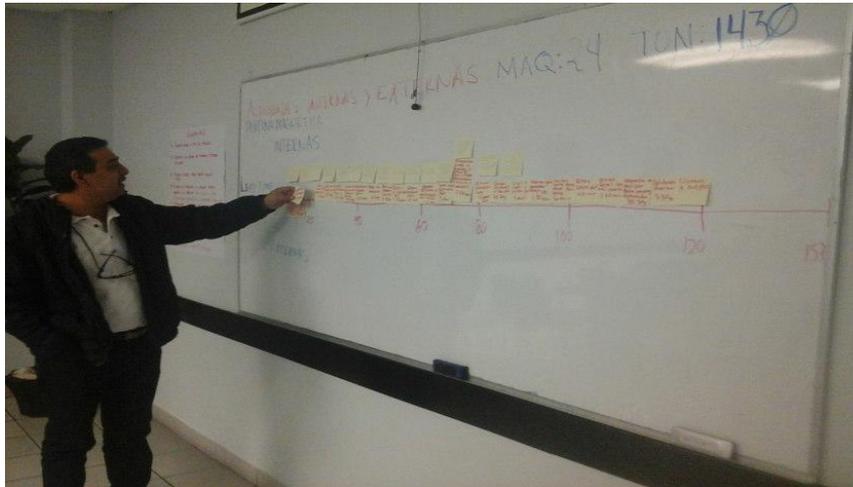


Figura 4.17. Listado de actividades de montadores.

Con esta dinámica, especialmente la gente de procesos, el grupo observó que existen actividades que pueden ser desarrolladas durante el tiempo de operación de la prensa (actividades externas). Por lo tanto, esas actividades que resultan ser de carácter externo, son las que primeramente serán estudiadas para que puedan realizarse mientras la máquina aún sigue en funcionamiento (Figura 4.18).

Las actividades internas y externas que quedaron como definitivas, fueron aceptadas por el departamento de procesos, encargados de realizar los cambios, lo que ayuda a que se tenga que realizar, con ayuda de ingeniería, un procedimiento estándar de proceso de montaje.

Actividad	Tiempo (min)	Tipo de Actividad	Actividad	Tiempo (min)	Tipo de Actividad
1 Cerrar prensa	5.15	Interna	1 Purgar thermo	13.27	Externa
2 Sacar cañón	1.12	Interna	2 Desconexiones, conectores	3.4	Interna
3 Poner candado	0.3	Interna	3 Despegar molde	5	Interna
4 Poner armella	2.54	Interna	4 Retirar material de aro centrador	11.2	Interna
5 Quitar resistencias	1.44	Interna	5 Cerrar prensa y juntar molde	5	Interna
6 Poner agua	1	Interna	6 Conectar valculado	18.16	Interna
7 Desmagnetizar	2.25	Interna	7 Prender controladores y calentar termos	6.45	Interna
8 Sacar molde	6.13	Interna	8 Meter temperatura a prensa y colocar tool	33.98	Interna
9 Ir por molde	2.56	Interna		96.46	minutos
10 Poner molde	27.33	Interna			
11 Magnetizar	0.4	Interna	Técnico de procesos		
12 Aquitar grúa	2.1	Interna	Calentar molde	35	Externa
13 Quitar armella	0.9	Interna	Ajustes de procesos	15	Interna
14 Poner resistencia	8.32	Interna		50	minutos
15 Quitar candado	2.23	Interna			
16 Programar	6	Interna			
17 Poner tool	21.31	Interna			
	91.08	minutos	TIEMPO TOTAL DE MONTAJE:	146.46	minutos

Figura 4.18. Separación de actividades internas y externas.

En total se lograron separar dos actividades, ambas del montador 2, que agregan por lo menos 48 minutos al montaje. Con la separación de actividades externas, todas las demás actividades restantes deben estar enfocadas a que sus tiempos sean reducidos al mínimo, como parte de la fase siguiente del SMED.

Etapa 2. Convertir actividades internas a externas

Como se comentó en la etapa 1 de la metodología, el proceso de montaje no solo es dependiente del departamento de procesos, si no de aquellas personas que liberan piezas, corren la máquina, trasladan el material y prácticamente de todos los demás departamentos de apoyo. Para poder estandarizar y delegar actividades en un cambio de molde, se decidió crear un diagrama de flujo del proceso para un montaje (véase anexo 1). El objetivo de la creación de este documento, que además será controlado por el departamento de calidad, es que se despliegue por lo menos en uno de los pizarrones del área de moldeo, para que se conozca cómo debe darse un correcto cambio de molde. El diagrama de flujo del proceso indica quién da el punto de partida o la señal, para realizar un montaje, además de dar a conocer que departamentos están involucrados directamente. Por último, hay que agregar que este proceso de convertir la “actividad 1” del montador 2, a ser una actividad externa, es de una rápida factibilidad. Bajo este esquema de trabajo, los departamentos involucrados están comprometidos a llevarlo a cabo para observar los beneficios que se pueden obtener.

Ayudando a esta mejora, el proceso de purgado se simplifica con la implementación de un dispositivo de drenado de agua que fue fabricado por el departamento de mantenimiento y procesos (Figura 4.19).



Figura 4.19. *Dispositivo de drenado de agua.*

El uso de este aparato permite obtener dos beneficios: 1) poder drenar el agua sin que el montador 2 tenga que estar al pendiente del proceso y 2) el agua se puede regresar al sistema de tubería de la planta siendo esta agua limpia y de esta manera volver a utilizar el agua contribuyendo al medio ambiente.

La otra actividad que se planea convertir a externa, es la que involucra al técnico de procesos. Este paso se refiere a que una vez que el molde ya está instalado en la prensa, el molde debe ser calentado con agua caliente para que esté a temperatura similar a la máquina y que, tanto molde como prensa, cumpla con los parámetros pedidos en la hoja de parámetros del molde. En esta ocasión, se le solicitó al departamento de ingeniería que se arreglara un calentador de moldes externo, este aparato tiene la función de calentar el molde sin necesidad de que el molde se instale en la máquina. Obviamente el proceso de colocación de armellas que el montador uno tiene que realizar, debe ser hecho antes de que el molde sea pasado por el calentador de moldes. En la Figura 4.20 se muestra una imagen del calentador de moldes, en este caso solo se hizo una inversión de \$1,200 dólares para refacciones, compra de cascarones y mano de obra.



Figura 4.20 *Calentador de moldes.*

Con el diagrama de flujo, que servirá para anticipar la tarea de purgado del agua y el uso de un calentador de moldes, que servirá para calentar el molde fuera del tiempo parado de la máquina, se pretende convertir un total de dos actividades internas a externas. Finalmente con estos trasposos de actividades, teóricamente el tiempo de montaje se reduce un aproximado de 48 minutos, anticipando un montaje y usando un termo.

Etapa 3. Reducir al mínimo los aspectos de la operación

Aquí se decidió mejorar los aspectos mostrados en la etapa 3 de la metodología de SMED, situación actual. De primera instancia se decidió mejorar el árbol de brazo de robot, el cual estaba sin identificación y totalmente desarmado. Se solicitó a un proveedor que fabricara un prototipo, con un valor aproximado de 7 mil pesos, para colocar el brazo de robot y finalmente se realizó como el mostrado en la Figura 4.21, la reducción de tiempo fue de 2 minutos, ya que la distancia y el tiempo de búsqueda se logró reducir.



Figura 4.21. *Árbol de brazo de robot mejorado.*

Este árbol de brazo de robots, fue colocado justo detrás de la prensa no. 11 para que el cambio de brazo de robot fuese lo más rápido posible. Otra mejora es la colocación de identificaciones en el molde para el sistema de valvulado, como se observó en la situación actual, el sistema de valvulado no contaba con identificaciones o ayudas visuales que le enseñaran al montador donde colocar las mangueras. Para resolver este problema, se realizó la identificación de cada una de las tomas de entradas y salidas de agua del sistema de valvulado, para que los montadores supieran con exactitud dónde conectar cada manguera, al igual, también se identificaron las mangueras (véase Figura 4.22).



Figura 4.22 *Identificación del sistema de válvulas*

Otra mejora fue que la cama de moldes, que se encontraba incompleta, se le completó los bloques de madera para que puedan colocar moldes en una base blanda y no colocarlos en el piso. La Figura 4.23 muestra cómo la cama de moldes se encuentra completa y en perfectas condiciones.



Figura 4.23. Cama de moldes completo.

Se considera una mejora de un 72% al poder reducir el tiempo de valvulado, esto nos lleva de un tiempo de 18 minutos a tan solo 5 minutos. Además se implementó otra mejora, que es la utilización de un peine de hierro para que las mangueras no se enreden y el montador pueda tomar fácilmente la manguera correspondiente, sin que ésta se pierda entre las demás (Figura 4.24).



Figura 4.24 Peine para mangueras de valvulado.

Los montadores ya no tienen que buscar otras camas lejanas a la prensa no. 11, ya que al tener en buenas condiciones la cama para los moldes de la prensa no. 11, podrán colocar enfrente de la máquina el molde del sustrato del IP.

Con el peine y la identificación al sistema de valvulado el montador pierde un mínimo de tiempo en conectar las mangueras.

Una vez que se ha completado y armado correctamente el brazo de robot para el molde del sustrato del IP (véase Figura 4.25), también se hizo un acuerdo entre los montadores para definir el instrumental necesario para realizar sus labores (Figura 4.26).

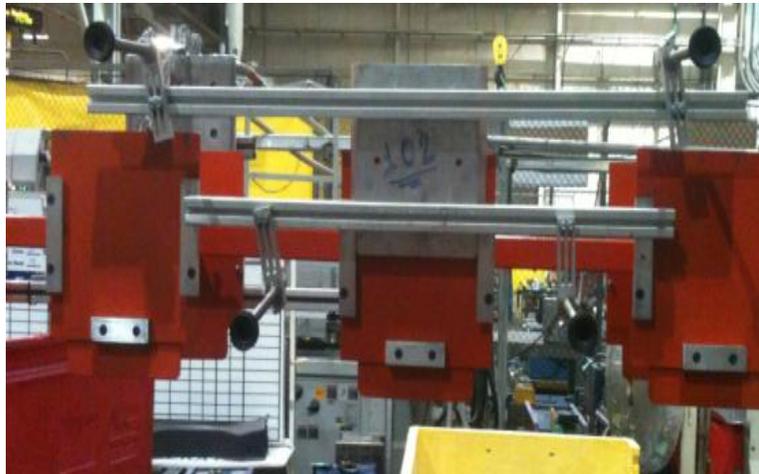


Figura 4.25 Brazo de robot para molde de IP.

Con esta mejora, completar brazo de robot y proporcionar herramienta necesaria a los montadores, se logra reducir por lo menos 4 minutos.



Figura 4.26. Kit de herramientas para montadores.

Ahora los montadores no tienen que estar pidiendo herramientas para poder desarmar brazos de robots o realizar ajustes en los moldes.

Por último se tiene la mejora de marcar los moldes y las placas con una franja roja (véase Figura 4.27), para que el montador que necesita meter los moldes no pierda tiempo en la alineación.



Figura 4.27. Franja de alineación de moldes.

Con la implementación de estas mejoras, el ingeniero industrial, realiza nuevamente la toma de tiempos para verificar que con el uso de las facilidades existe una reducción de tiempos.

Etapa 4. Mejorar los aspectos organizacionales

Para cerrar el ciclo de la implementación de SMED, se realizó una presentación al grupo gerencial sobre las mejoras realizadas durante el tiempo de trabajo. La respuesta del gerente del área de moldeo fue totalmente aceptable al trabajo realizado y decidió seguir apoyando a realizar réplica en las demás prensas.

Finalmente, al resto de montadores y técnicos de procesos que no estuvieron directamente involucrados en el equipo de trabajo, se les impartió la misma enseñanza y de esta manera, tanto montadores nuevos como viejos, todo el personal técnico de montajes está ahora entrenado en la Filosofía SMED.

La oportunidad de poder participar en estos tipos de entrenamientos, para el personal de procesos, ayuda a incrementar la experiencia laboral de cada uno de los

empleados y sobre todo a que haya más gente que hable el mismo lenguaje al momento de referirse a SMED.

4.6. Paso 5. Comparación de resultados

Como se observó en la fase 1 del SMED, el equipo realizó un diagrama de recorrido de ambos montadores antes de implementar cualquier mejora. Ahora después de haber realizado algunos cambios, se volvió a plasmar en papel el recorrido de los montadores, obteniendo el siguiente resultado (véase Figura 4.28 y 4.29).

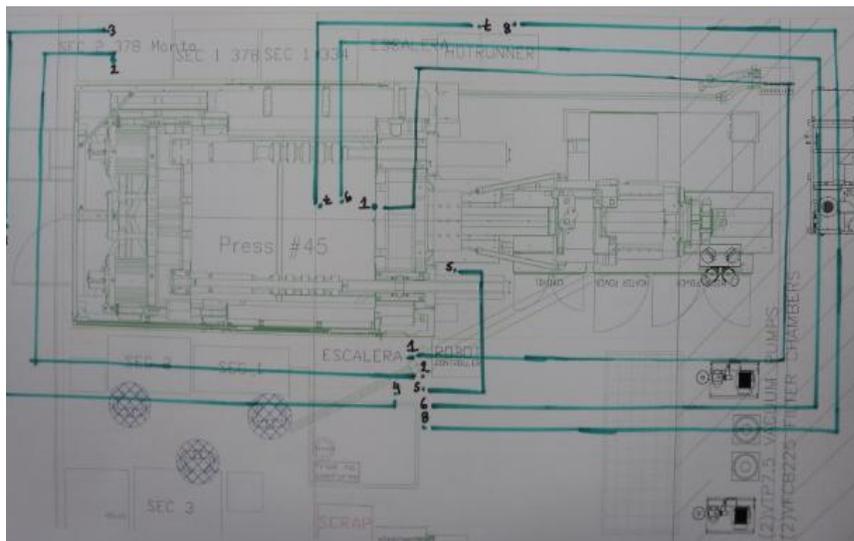


Figura 4.28. Recorrido de montador 1, después de mejoras.

Al juntar ciertas actividades del montador 1, se logró reducir el número de toques de 18 a tan solo 12, recorriendo aproximadamente 55 metros (25 metros menos).

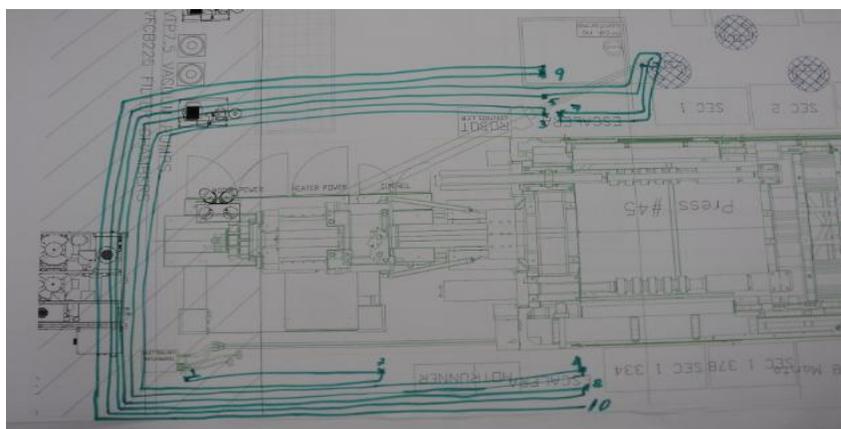


Figura 4.29. Recorrido de montador 2, después de mejoras

Al igual que el montador 1, el montador 2 también redujo el número de toques dados y el recorrido a una distancia aproximada de 75 metros (42 metros menos, antes de aplicar SMED). Tanto para el montador 1 como para el montador 2, la reducción en los tiempos de las actividades internas, ayudaron a que los recorridos sean menores. El proceso de estandarización de actividades llevó al equipo de trabajo solamente una semana el poder acostumbrarse al nuevo estándar. Finalmente las actividades quedaron repartidas de la siguiente manera y con un tiempo teórico de montaje de solo 65 minutos (Figura 4.30).

Actividad	Tiempo (min)	Tipo de Actividad	Actividad	Tiempo (min)	Tipo de Actividad
1 Cerrar prensa / sacra cañon	6.27	Interna	1 Purgar thermo		Externa
2 Poner candado	0.3	Interna	2 Desconexiones, conectores	3.4	Interna
3 Poner armella	2.54	Interna	3 Despegar molde	5.82	Interna
4 Quitar resistencias /desmagnetizar	3.69	Interna	4 Retirar material de aro centrador	7.24	Interna
5 Sacar molde	6.13	Interna	5 Cerrar prensa y juntar molde	5.12	Interna
6 Ir por molde	1	Interna	6 Conectar valculado	5.77	Interna
7 Poner molde	7	Interna	7 Prender controladores y calentar thermos	6.45	Interna
8 Magnetizar	0.4	Interna	8 Meter temperatura a prensa y colocar tool	33.98	Paralela
9 Aquitar grúa	2.1	Interna		67.78	minutos
10 Quitar armella	0.9	Interna		48.23	minutos
11 Poner resistencia	8.32	Interna	Técnico de procesos		
12 Quitar candado	2.23	Interna	Calentar molde		Externa
13 Programar	6	Interna	Ajustes de procesos	15	Interna
14 Poner tool	3	Interna		15	minutos
	49.88	minutos			
			TIEMPO TOTAL DE MONTAJE:	64.88	minutos

Figura 4.30. Lista de actividades final para montadores (Actividades resaltadas representan actividades internas que se les redujo tiempo con implementación de mejoras).

Al igual que en la condición actual de la metodología, se volvieron a tomar los tiempos de montaje para observar tendencias. En la Tabla 4.4 se observa los tiempos tomados antes de SMED y después de la implementación de las mejoras.

Muestra	Minutos	Horas	Muestra	Minutos	Horas	Muestra	Minutos	Horas
1	124	2.07	11	99	1.65	21	98	1.63
2	97	1.62	12	83	1.38	22	79	1.32
3	122	2.03	13	116	1.93	23		0.00
4	132	2.20	14	74	1.23	24		0.00
5	118	1.97	15	102	1.70	25		0.00
6	113	1.88	16	93	1.55	26		0.00
7	146	2.43	17	92	1.53	27		0.00
8	77	1.28	18	94	1.57	28		0.00
9	89	1.48	19	88	1.47	29		0.00
10	88	1.47	20	89	1.48	30		0.00

Tabla 4.4. Tiempos de montaje después de implementación de mejoras.

Para poder visualizar mejor la situación pasada a la actual, se plasma el siguiente gráfico (véase Figura 4.31).

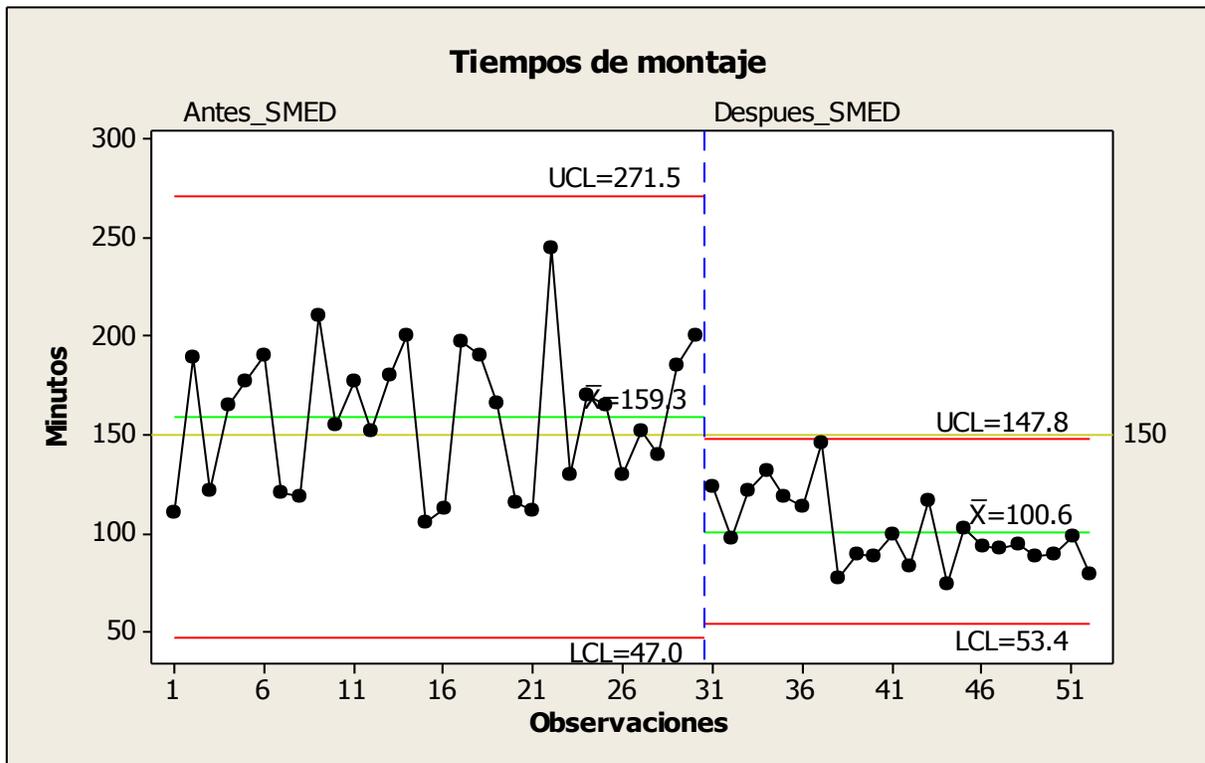


Figura 4.31 Comparativo antes y después de implementación de mejoras.

Fácilmente se puede observar en la gráfica que los tiempos tomados en la situación actual (antes de la línea azul), en su mayoría rebasan el tiempo permitido por el departamento de ingeniería. Mientras tanto, los tiempos tomados después de la implementación de SMED (después de la línea azul), todos se encuentran por debajo del tiempo límite que es de 150 minutos.

A pesar que teóricamente el montaje debe de durar 60 minutos, el tiempo promedio de de cambio de molde está siendo de 100 minutos. Se planea alcanzar el tiempo meta de 60 minutos conforme el sistema de montaje vaya madurando.

4.7. Paso 6. Documentación

Prácticamente, tanto en los videos de grabación de los montajes como en las hojas de recolección de tiempos, se ha documentado el progreso del proceso de mejora en la aplicación de SMED. Se le ha proporcionado al departamento de ingeniería toda la

documentación para que pueda ser guardada y utilizada en caso de ser necesaria. Por otro lado, el documento base que hace referencia al tiempo estimado de montaje ha sido cambiado como se muestra en la Tabla 4.5.

Descripción	# molde	Tiempo Maq semanal al 85%	Cambio de moldes (min)	Montajes a la semana	Tiempo de ciclo (seg)	Tiempo de Set up (min/semana)	Car sets por tiro	85% Utilización
391 DEFROSTER/SWD DUCT	13-101- 01	6910.5	100	4	65	400	2	0-48
391 I/P SUBSTRATE	13-103- 02	6910.5	110	2	69	300	1	0.27
533 LOWER I/P RETAINER SUBSTRATE	13-100- 01	6910.5	150	2	69	300	1	0.24

Tabla 4.5. Información de capacidad para IMM no. 11.

Ahora el tiempo permitido de cambio de molde es de 110 minutos. Este tiempo fue seleccionado por la implementación de las mejoras más un tiempo de protección debido a la curva de aprendizaje por parte de los montadores.

5. CONCLUSIONES

Los beneficios que se obtienen al haber implementado la metodología propuesta y la herramienta SMED, pueden ser observados con los siguientes datos: Estudio de capacidad, beneficio económico, cambio cultural y logro de objetivos del trabajo.

Estudio de capacidad

Tomando en cuenta que el proceso de montaje, es un proceso no productivo, que afecta al cumplimiento de la demanda, desde antes de la implementación de las mejoras se decidió medir este proceso a través de una muestra de tiempos recolectados. En la situación actual se observaba un tiempo promedio de montaje de 159 minutos, además que más del 50 por ciento de los tiempos tomados quedaron fuera del límite permitido de montaje. En las Figura 5.1 y 5.2, se presenta un comparativo con un par de estudios de capacidad del antes y después de aplicar SMED.

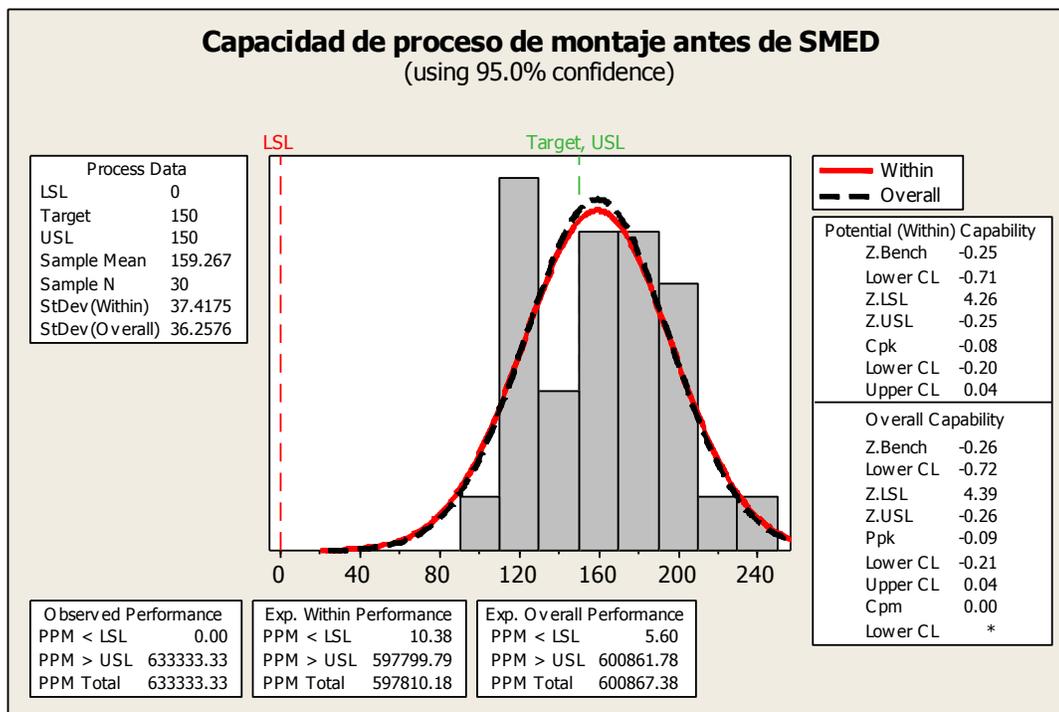


Figura 5.1. Estudio de capacidad antes de implementar SMED.

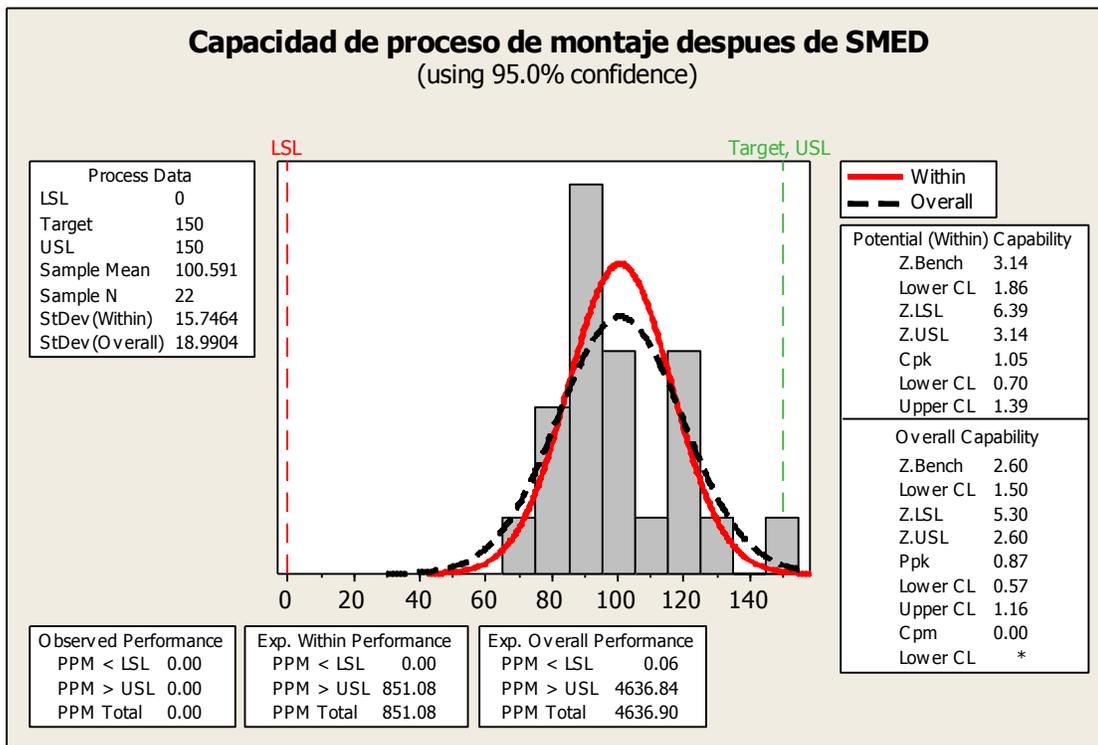


Figura 5.2. Estudio de capacidad después de implementar SMED.

Se puede observar un cambio en la media de los tiempos; antes se tenía un tiempo promedio de 159 minutos contra 100 minutos que resultaron en promedio después de SMED. Por otro lado el cpk anterior era igual a -0.08 comparado con un nuevo cpk igual a 1.05, indicando un aumento en la capacidad del proceso de 1.58, logrando que los montajes se encuentren dentro de los límites permitidos para los cambios de moldes. Por último se observa una reducción también en la variación general del proceso; en la muestra tomada antes de aplicar SMED se tenía una desviación estándar en el tiempo de 36 minutos, mientras que con la aplicación de las mejoras, éste valor se redujo un 50%, quedando a tan solo 18 minutos. Aunque la mejora en reducción de variación es mayor si tomamos en cuenta los datos de ambas muestras, en donde se obtuvo una desviación estándar de 37 minutos antes de SMED y se redujo a 15 minutos después de aplicar SMED. Cabe resaltar también que la muestra no fue la misma para ambas tomas, se tomaron en cuenta 30 tiempos para calcular la situación pasada de los montajes, mientras que para conocer la situación actual, sólo se tomaron 22 muestras.

Comparativo económico

Finalmente de los tiempos obtenidos después de aplicar SMED, se obtiene un promedio de montaje de 100 minutos con una desviación estándar de 18 minutos. Si este ritmo de trabajo se mantiene, el ahorro anual obtenido por la implementación de SMED es el siguiente:

Condición antes de SMED

- Tiempo máquina caído (por montaje): 14,400 minutos
- Costo por paro de máquina (por montaje): \$ 38,800 dólares.

Condición Después de SMED

- Tiempo máquina caído (por montaje): 9,600 minutos / año
- Costo por paro de máquina (por montaje): \$ 25,920 dólares / año

En este caso, las diferencias respecto a la situación pasada en los tiempos de montaje plasmado por el departamento de ingeniería son; un total de 4,800 minutos de tiempo muerto al año menos y un ahorro de \$12,880 dólares al año. En caso de que se alcance y se puedan mantener los montajes a un tiempo de 60 minutos, el beneficio en tiempo aumentaría a 8,640 minutos menos de tiempo máquina caído y un ahorro de \$15,466 dólares al año.

Cambio cultural

Sin duda alguna, el mejor resultado que se puede obtener es el cambio en la cultura de la gente; empezando por los gerentes, quienes generalmente son los que se resisten más a los cambios, pasando por los ingenieros, supervisores, técnicos y operadores. El hecho más importante de este trabajo, fue como la gente empezó a darse cuenta de los beneficios que se obtienen al momento de implementar esta metodología. El involucrar a tantas personas en el proceso de cambio, ayuda a que la credibilidad del trabajo aumente y más cuando al final se obtiene un beneficio, no solo económico por parte de la compañía, si no también, un beneficio en el trabajo,

personal, que ayuda a las personas a seguir empeñándose por querer hacer mejor las cosas.

Este proceso de cambio, culminó con la entrega de un reconocimiento sobre la aplicación correcta de SMED, al grupo que participó en el proyecto (véase Figura 5.3).



Figura 5.3. Foto de entrega de reconocimiento a integrantes de trabajo SMED.

La gerencia de planta agradeció el soporte brindado por los departamentos de ingeniería, programación, procesos, producción, calidad y mejora continua para lograr que los objetivos de este proyecto se cumplieran. A pesar de las rotaciones de personal, el trabajo de documentación, ayudará a estandarizar el proceso de cambio de molde. No solo el hecho de ofrecer mejores entrenamientos es suficiente para lograr cambios de molde en corto tiempo, si no, crear y creer en una cultura esbelta donde los beneficios ayudan tanto a la compañía como a los trabajadores. La gerencia de planta exhorta a que ésta buena práctica sea replicada en las demás unidades de negocio en donde existen también cambios de modelos y herramientas, sostener la implementación de mejoras en la máquina inyectora no.

11 y finalmente hacer que más personal conozca de los beneficios de trabajar en una cultura de mejora continua y manufactura esbelta.

Objetivos del trabajo

El objetivo general del proyecto se cumple reduciendo el tiempo de cambio de molde para la máquina inyectora no. 11 y el molde del sustrato del panel de instrumentos, de 159 minutos reales o 150 minutos como tiempo meta, a solo 100 minutos reales ó 60 minutos ideales.

Los tres objetivos específicos fueron también alcanzados en la etapa 4 de la metodología, implementación de la herramienta SMED. En donde por medio de la fase 1 del SMED se lograron identificar todas las actividades internas y externas del proceso de montaje. En la fase dos; con la reconstrucción de un calentador de moldes y la creación de un diagrama de flujo, para conocer roles y responsabilidades de cada departamento, se lograron convertir actividades internas a externas, siendo éste paso el más importante de todos y en la fase 3; la implementación de las mejoras en las facilidades de los montadores, se logró reducir tiempos de actividades internas.

Por último, la hipótesis establecía que con la implementación de la herramienta SMED también se pretendía reducir la variabilidad en los tiempos de montaje. Esto se logró en parte por la estandarización de actividades, el diagrama de flujo y la práctica de los montadores. De esta manera, la variación en el proceso de montaje se redujo a un 50 por ciento.

6. RECOMENDACIONES

SMED es la herramienta más aplicada en procesos de reducción de tiempos de cambios de herramientas, modelos y productos, además de ser la base para otros modelos de reducción de tiempos. Por su facilidad de uso, SMED es fácilmente aplicado por cualquier trabajador en las organizaciones y eso le da una ventaja enorme al momento de querer seleccionarla.

Como toda herramienta de manufactura esbelta, lo más importantes es el soporte que se le da para su implementación y poder contar con los recursos necesarios. El hecho que la alta gerencia soporte este tipo de proyectos, ayuda a empujar a que los beneficios de las implementaciones de las mejoras sean más claras para los trabajadores.

El mayor reto de implementar SMED, es el sostener las mejoras. Sin importar el tiempo, las rotaciones de personal, los recursos realizados, los controles que el equipo está dejando en manos del personal del área de moldeo, han sido los más sencillos posibles a seguir. El cambio cultural es el factor más importante en la implementación de SMED, por tal razón se recomienda que a todo el personal, no solo del área de moldeo, sino también de las otras unidades de negocio, hablen el mismo idioma de manufactura esbelta y entre ello el SMED.

Se recomienda hacer replicas en las demás máquinas inyectoras de plástico, así como en las máquinas sopladoras de plástico, en los procesos de termo formado y formado al vacío que hay en las áreas y en donde se realizan también cambios de herramientas.

Por otro lado, también existieron trabas en la realización de este trabajo. La primera fue el poder convencer a un grupo de ingenieros y personal con ciertas responsabilidades en las operaciones, que realizar mejoras no siempre debe ser aplicado en proceso productivos, sino mas bien en proceso que no agreguen valor al producto pero que beneficia a la compañía. Para lograr brincar esta barrera, prácticamente se recomienda realizar un caso de negocio en donde se muestre un beneficio económico, ya que al final del trabajo la compañía busca ganancias.

Otro factor importante es el querer aplicar esta herramienta en una empresa que trabaje bajo el esquema justo a tiempo. A pesar de que SMED es totalmente una herramienta de manufactura esbelta que ayuda a cumplir con tiempos de entregas más cortos, fabricar lotes más pequeños y adaptarse a los cambios repentinos del cliente, el tiempo de las personas juega un papel importante. Puede ser que no se tenga la cantidad de personal necesario o que no se cuente con la suficiente solvencia económica para tener herramientas rápidas. Pero en este trabajo, prácticamente el montaje dependía de la gente de procesos y un técnico, lo que cubría un total de 3 personas. En otras plantas que también tienen proceso de inyección, cuentan hasta con 5 personas las cuales son multifuncionales. Esto ayuda a que no solo se realicen actividades exclusivas del montaje, sino que también puede hacerse actividades de limpieza que facilitan los cambios de herramienta en una cantidad enorme en ahorro de tiempo, además de también poder adelantar actividades en montajes posteriores.

Por último, el aplicar SMED no solo tiene un costo si se pretende invertir en facilidades para los cambios. Un cambio de molde lleva también, en muchos casos, un cambio de color y para esto se debe de purgar la prensa con un material exclusivo, esto implica que, entre mas cambios se hagan más purgante se debe utilizar y esto puede implicar un costo no propiamente de la operación. Por tal motivo, si se planea aplicar SMED en procesos donde se tenga que utilizar un tipo de aditivo en cada cambio o alguna sustancia especial y los cambios aumentarán gracias a SMED, se recomienda sacra primero un análisis de costo – beneficio para observar si las ganancias serán mayores que las inversiones.

7. TRABAJOS FUTUROS

En base el estudio llevado a cabo dentro de la empresa se propone lo siguiente:

- Realizar réplicas a todas las prensas del área de moldeo y en las unidades de negocio que cuenten con procesos similares.
- Analizar costo-beneficio de querer invertir en tecnología para reducir tiempo de cambio de molde en las demás prensas.

8. REFERENCIAS

- Advanced Materials & Processes. 2011. Automotive Trends Drive Broader, More Diverse Plastics Use. Vol. 169 Issue 3, p17-20. 4p.
- Azuan, S y Ahmad, S. 2010. *Culture and Lean Manufacturing: Towards a Holistic Framework*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(1): 334-338.
- Bateson, G. 1972. Steps to an ecology of mind - Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology. Jason Aronson: London
- Berger, A. 1997. *Continuous improvement and kaizen: standardization and organizational designs*. Integr Manuf Syst 8(2):110–117
- Bessant, J y Francis, D. 1999. *Developing Strategic Continuous Improvement Capability*, International Journal of Operations and Production Management, 19(11), pp. 1106-1119.
- Buffa, E.S. 1984. Meeting the competitive challenge. Homewood, ILL: Irwin.
- Caffyn, S. 1999. *Development of a continuous improvement selfassessment brazo de robot*. Int J Oper Prod Manage 19(11):1138–1153
- Cakmakci, M. 2009. Process improvement: performance analysis of the configuración time reduction-SMED in the automobile industry. Int J Adv Manuf Technol (2009) 41:168-179
- Covarrubias, R. 2013. Innovación. Plásticos en la Industria Automotriz, plastimagen, consultado: 06 de Enero de 2014, <http://www.plastimagen.com.mx/2013/minuta/d13-RodrigoCovarrubias.pdf>
- Cuatrecasas, L 2010. Lean Management: La gestión competitiva por excelencia, Profit Editorial.
- Dahlgaard, J. J, Kristensen, K y Kanji, K. G. 2007. *Fundamentals of Total Quality Management: Process analysis and improvement*. London: Taylor & Francis e-Library Publisher.
- Drexel A, Kimms A. 1997. Lot sizing and scheduling-survey and extensions. Eur Joper Res 99:221-235
- Espin, E. P. 2013. Técnica SMED. Reducción del tiempo preparación. Área de Innovación y Desarrollo, S.L.

- Filho, M.G y Uzsoy, R. 2011. The effect of shop floor continuous improvement programs on the lot size-cycle time relationship in a multi-product single-machine environment. *Int J Adv Manuf Technol* 52:669-681
- Formoso, C T, Santos, A.D y Powell, J. 2002. *An Exploratory Study on the Applicability of Process Transparency in Construction Sites*, *Journal of Construction Research*, 3(1), pp. 35-54.
- Furmans, K. 2005. *Models of heijunka-levelled kanban-systems*.
- Giordano, F y Schiraldi, M.M. 2013. On Just-In-Time Production Leveling. [Página web], visitado: el día 05 de Enero del 2014. <http://dx.doi.org/10.5772/54994>
- Goldratt, E y Fox, R.E. 1986. *The race*. North River Press: Great Barrington.
- Gonzales, E y Diego, F. 2009. *Estandarización de procesos de fábrica y elaboración de indicadores de producción en la empresa ITC ingeniería de plásticos industriales*. Universidad Autónoma del Occidente.
- Gunasekaran, A, Goyal, S K, Martikainen, T y Yli-Olli, P. 1998. *Total quality management: A New Perspective for Improving Quality and Productivity*. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 15(8/9), pp. 947-968
- Guneri, A.F, Kuzu, A y Taskin, G. A. 2009. *Flexible kanbans to enhance volume flexibility in a JIT environment: a simulation based comparison via ANNs*. *International Journal of Production Research* Vol. 47, No. 24, 15
- Gupta, S.M, Al-Turki, Y.A.Y y Perry, R.F. 1999. *Flexible kanban system*. *International Journal of Operations & Production Management*, 19 (10), 1065–1093.
- Hassan, K y Kajiwara, H. 2013. Application of Pull Concept-based Lean Production System in the Ship Building Industry. *Journal of Ship Production and Design*, Vol. 29, No. 3, pp. 105-116.
- HCI. 2010. PDCA Cycle From problem-faced to problem-solved, [página web], consultado: 06 de Enero del 2014, [http://www.hci.com.au/hcisite3/brazo de robotkit/pdcacycl.htm](http://www.hci.com.au/hcisite3/brazo_de_robotkit/pdcacycl.htm)
- IAC group. 2013 Reseña sobre empresa [página web], consultado: 06 de Enero 2013, <http://inet.iacna.com/about/locations/mx/hermosillo/index.htm>
- Karimi B et al. 2003. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. *Omega-Int J Manag Sci* 31:365-378
- Karmarkar U.S et al. 1985. Lot sizing and lead time performance in a manufacturing cell. *Interfaces* 15(2):1-9.

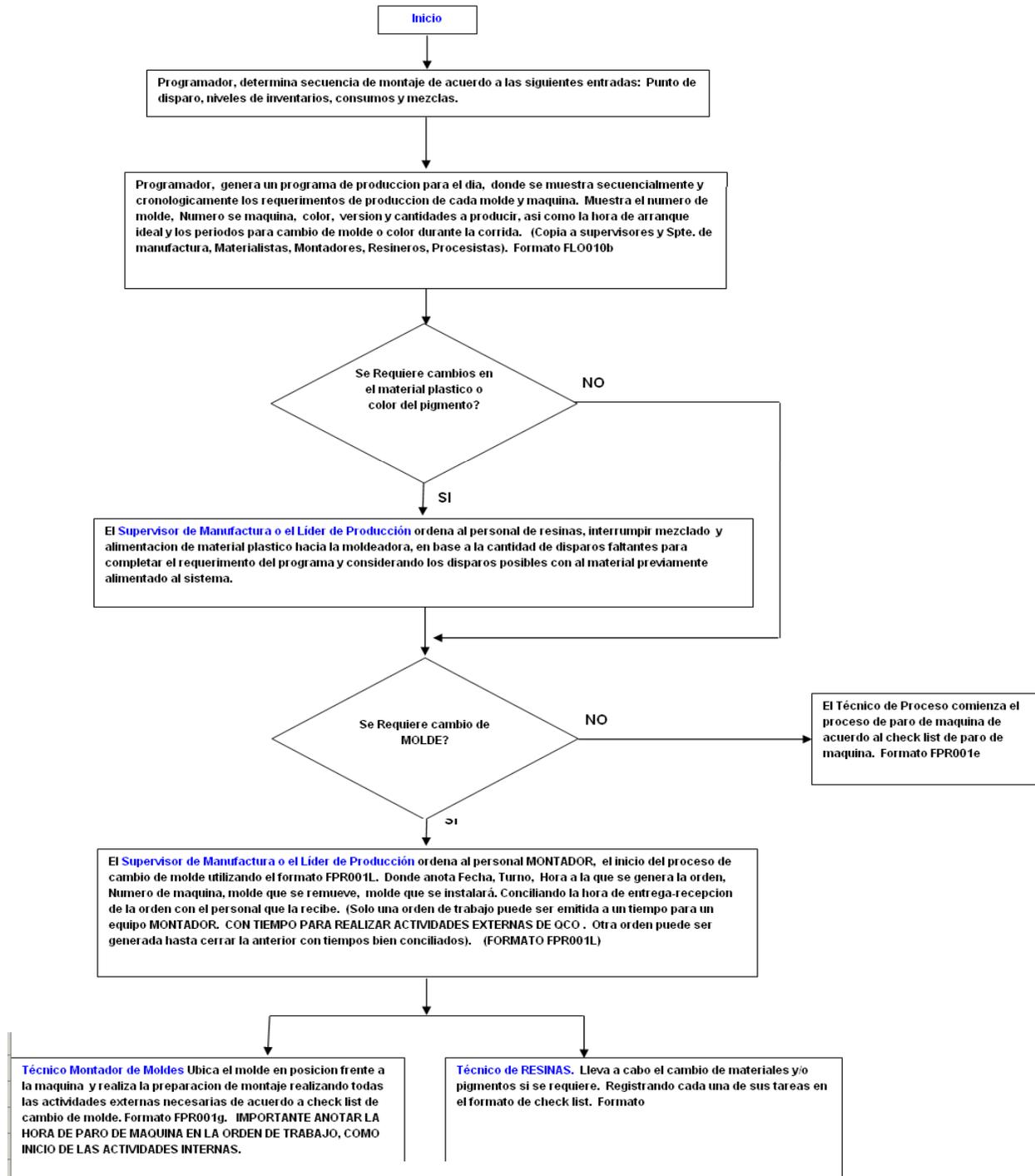
- Kartikowati, R.S. 2013. *The Technique of "Plan Do Check and Act" to Improve Trainee Teachers' Skills*. Canadian Center of Science and Education. Asian
- Keller, R. 2009. *Taking the Long-Term Perspective Will Pay Off*. Industry Week/IW. Feb2009, Vol. 258 Issue 2, p14-14. 1p
- Kilian, C. S. 1992. *The world of W.Edwards Deming* , 2nd edition, Knoxville,TN:SPC Press .Inc, pp 22-27
- Lander, E.y Liker, J. K. 2007. The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way. International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 16, 3681-3698
- Lean roots. 2014. ANDON. [página Web], visitado: el 05de Enero del 2014, <http://leanroots.com/ANDON.html#>.
- Liker, J. 2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill, New York.
- Marchwinski, C, Shook, J, Schroeder, A. 2008. *Lean Lexicon: a Graphical Glossary for Lean Thinkers*. - The Lean Enterprise Institute. -Cambridge, 125 p
- Masaakii, I. 1991. *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Mcintosh,R. I, Culley, S.J, Mileham, A.R. y Owen, G.W. 2000. "A critical evaluation of Shingo's `SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology", Int. J. prod. Res.2000, vol 38, No. 11, 2377- 2395.
- Monden, Y. 1986. *Manufacturing control of Toyota – Toyota no Genba Kanri*. Tokyo Tokyo: Management Center of Japan Management Association (JMA).
- Muerza, S. 2012. Casa del TPS. [página web], visitado: 16 de Diciembre del 2013.Casa del TPS <http://energiaverdebcn.wordpress.com/tag/tps-house>.
- Nortje, F.D y Snaddon, D.R. 2013. The toyota production system's fundamental nature at selected south african organisations - a learning perspective. South African Journal of Industrial Engineering, Vol 24(1): pp 68-80.
- Oliver, N, Delbridge, R., Jones, D. and Lowe, J. 1994. World class manufacturing: further evidence in the lean production debate. Brit. J. Manage. 5(S), 53-63.
- Ono, T. 1978. *The Toyota Production System – Toyota Seisan Housiki Datu Kibo no Keiei o Mezashite*. Tokyo: Management Center of Japan Management Association (JMA).

- Owena , G. Culleya , S. McIntosha, M. S y Milehama, T. 2007. Using Differing Classification Methodologies to Identify a Full Compliment of Potential Changeover Improvement Opportunities. Springer-Verlag London Limited pp 337-344.
- Pande, P et al. 2000. *The six sigma way: how GE, Motorola and other top companies are honing their performance*. McGraw-Hill, New York.
- Philip, A. 2010. *Lean is a Cultural Issue*. Management Services, 54(2): 35.
- Pierce, J L, Kostova, T y Dirks, K. T. 2001. *Toward a Theory of Psychological Ownership in Organizations*. The Academy of Management Review, 26(2), pp. 298-310.
- Rajenthirakumar, D. y Shankar, R.G. 2011. *Analyzing the benefits of lean brazo de robots: a consumer durables manufacturing company case study*. annals of faculty engineering hunedoara – international journal of engineering.
- Rhoda, M. 2009. Automakers keep plastic on the inside. Plastic News. Vol. 21 Issue 13, p7-1NULL. 1p.
- Sallis, E. 2005. *Total Quality Management in Education*. London: Taylor & Francis e-Library Publisher.
- Sampieri, H, Collado, F y Lucio, B. 2010. *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill, 5ta edición.
- Savolainen, T.I. 1999. *Cycles of continuous improvement: realizing competitive advantages through quality*. Int J Oper Prod. Manage 19(11):1203–1222.
- Schmidt, S. 1997. Total Productive Maintenance and Change Over Reduction Engineering A Way To Increase Quality And Productivity. D-82 140 Olching, Germany.
- Shah , R y Ward, P. T. 2000. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. Journal of Operations Management 21. 129-149. Elsevier Science B.V.
- Shingo, S a)1985 b). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Sousa, R. M., Lima, R. M., Carvalho, J. D. & Alves, A. C. 2009. An Industrial Application of Resource Constrained Scheduling for Quick Changeover. IEEE IEEM.
- Spear, S y Bowen, H. K. 2000. La decodificación del ADN del sistema de producción Toyota. President and fellows of Harvard College.
- Spencer, M.S, Rogers, D.S, y Daugherth, P.J. 1994. *JIT systems and external logistics suppliers*. International Journal of Operations & Production Management, 14 (6), 60–74.

- Strategos. 2013. Jidoka & Autonomation, Manufacturing Strategy Executive Seminar. [página web], visitado: 8 de Enero del 2014, www.strategosinc.com/jidoka.htm.
- Sumner, T, Domingue, J, Zdrahal, Z, Millican, A y Murray, J. 1999. *Moving from On-the-job Training towards Organisational Learning*. In Proceedings of the KAW'99 12th Workshop on Knowledge Acquisition, Modelling and Management, Alberta, Canada.
- Suzaki, K. 1987. *The new manufacturing challenge: techniques for continuous improvement*. New York: The Free Press.
- Teich, S.T y Faddoul, F. F. 2013. Lean Management-The Journey from Toyota to Healthcare. Rambam Maimonides Medical Journal. Volume 4.
- Tezel, A., Koskela, L. y Tzortzopoulos, P. 2009. *The Functions of Visual Management*. International Research Symposium, Salford, UK.
- Toledano de Diego, A., Mañes Sierra, N. y García, S. J. 2009. *Las claves del éxito de Toyota. LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas*. Cuadernos de Gestión Vol. 9. Nº. pp. 111-122.
- Tontegode, L. 2006. *Memo to management*. Fabricare Canada. September.
- Treurnicht, N. F., Blanckenberg, M. M. y Van Niekerk, H. G. 2011. *Using poka-yoke methods to improve employment potential of intellectually disabled workers*. South African Journal of Industrial Engineering, Vol. 22 Issue 1, p213-224.
- Tharisheneprem, S. 2008. Achieving Full Fungibility and Quick Changeover By Turning Knobs In Tape and Reel Machine By Applying SMED Theory. 33rd International Electronics Manufacturing Technology Conference 2008. Georgetown, Pulau Pinang, Malaysia.
- Uno convenciones. 2014. Optimización del proceso de moldeo por inyección. [página web], visitado: 06 de Febrero del 2014. <http://www.unoconvenciones.com/?p=2221>.
- Van Goubergen, D. 2000. Set-up reduction as an organizationwide problem. Proceeding of the IIE Solutions 2000, Cleveland, Ohio.
- Vyas, K.C. 2011. *Toyota Production System*. Report Presented to the Faculty of the Graduate School Of the University of Texas at Austin.
- Womack, J.P, Jones, D.T. y Roos, D. 1990. *The Machine That Changed the World*. Rawson Associates. -New York, 323 p.
- Yash, G. & Vivek, V. 2013. *Implementing lean manufacturing in indian automotive industry*. International Journal For Technological Research In Engineering Vol. 1, Issue. 1.

ANEXO

Anexo 1. Diagrama de flujo del proceso para un montaje



Anexo (continuación)

