

EL SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE COMO TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA MAQUILADORA

J. Rivera Flores¹
O. Ruiz Hernández²
A. Casiano Contreras³

RESUMEN

En la actualidad, cuando de herramientas y/o utillajes de maquinaria se trata, no sólo cuenta el efecto que esto tiene en los costos vinculados con dichas tareas, los tiempos muertos de producción, los excesos de inventario de productos en proceso y productos terminados, los plazos de entrega al cliente y el tiempo de ciclo, sino también el prestar mejores servicios, aumentar la cantidad de operaciones, mejorar la productividad de la maquinaria y del personal que la ópera, así como, la creación de un sistema que sea robusto y flexible (García, 2012).

La transferencia de tecnología es un proceso mediante el cual se transmiten los conocimientos científicos y tecnológicos de una organización a otra, guiados mediante el proceso de transmisión de conocimientos tecnológicos y científicos para solventar necesidades, desarrollando, adaptando e innovando tecnologías en áreas prioritarias, impulsando la innovación y competitividad de la región, el estado y el país. El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST) y la empresa comercializadora KETER S.A. de C.V., se dan a la tarea de trabajar en convenio, con la finalidad de disminuir los tiempos de cambio de lote de producción de una máquina automática de serigrafía para el estampado de prendas, es decir, reducir al mínimo las actividades que se ejecutan en la habilitación de la máquina entre los cambios de lotes de producción que involucra el cambio de lote indicado por la última pieza producida hasta que la maquinaria inicia con la primera pieza del siguiente lote de producción (Carbonell, 2013).

Es por ello que, existe la necesidad de implementar una herramienta de mejora continua conocida como, el cambio rápido de herramienta SMED (acrónimo de Single Minute Exchange of Die), ya que, esta metodología juega un papel muy importante debido a que, permite hacer ajustes y cambios de herramientas en los menores tiempos posibles para poder pasar de un lote de producción a otro, mejorando la capacidad de producción de la planta de una manera ágil y económica para realizar los productos en el menor tiempo de respuesta posible, reducir el stock y los lotes de producción (De la Fuente, 2012).

ANTECEDENTES

El Tecnológico Nacional de México (TecNM, 2020) es un sistema conformado por un grupo de Instituciones de Educación Superior en México, integrada por 266 instituciones en todo el territorio nacional, incluida la Ciudad de México.

De conformidad con el artículo 2, del decreto de creación del TecNM, tiene como objetivo desarrollar e impulsar la investigación científica y tecnológica que se traduzca en aportaciones concretas para mantener los planes y programas de estudio, actualizados y pertinentes, así como, mejorar la competitividad y la innovación de los sectores productivos y de servicios, elevando la calidad de la vida de la sociedad.

Por ello, este organismo otorga apoyos a los investigadores quienes forman parte de este sistema para que, sometan proyectos de investigación en la convocatoria denominada “Apoyo a la investigación científica y tecnológica en los programas educativos de los

¹ Profesor de Tiempo Completo. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. jorge.rivera@live.itsteziutlan.edu.mx

² Profesor de Asignatura. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. oscar.ruiz@live.itsteziutlan.edu.mx

³ Docente de la Academia de Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. arnulfo.casiano@live.itsteziutlan.edu.mx

institutos tecnológicos federales y centros” y que, como resultado de una revisión ejecutada por pares, aquellas propuestas que cumplan con lo anterior, tendrán un recurso para la ejecución y desarrollo del proyecto (Instituto Tecnológico de Veracruz [ITVER], 2020).

En enero del 2019, como resultado de un convenio de colaboración firmado entre el ITST y la empresa comercializadora KETER S.A. de C.V., la empresa expresa como una de sus necesidades principales, la de realizar una propuesta para reducir los tiempos de cambio de herramental; ya que, desde la inauguración del departamento de estampado, se ha generado el problema del mal uso de los recursos, la baja productividad, baja flexibilidad, tiempos muertos por parte de los operarios y de la Maquinaria, esto debido a que, no se cuenta con un sistema capaz de eliminar los tiempos muertos en la reducción del tiempo de preparación de la máquina de serigrafía de prendas, la reparación de averías, el mantenimiento preventivo, el mantenimiento autónomo y las inspecciones al 100% de los productos. Por lo anterior, la empresa está en la búsqueda de la mejora continua, a fin de alcanzar la máxima calidad y la excelencia para la empresa a largo plazo (KETER, 2019).

Es por ello que, un grupo de docentes que conforman una línea de investigación del área de ingeniería industrial se dan a la tarea de someter el proyecto antes mencionado en la convocatoria que el TecNM emite, saliendo beneficiados con un recurso el cual es destinado para el desarrollo del proyecto en donde se tenga a bien como una de las metas principales el transferir tecnologías de mejoras a los procesos e integrando recursos humanos a los sistemas productivos de una planta industrial.

METODOLOGÍA

El proyecto fue realizado por un equipo multidisciplinario que involucró a docentes, alumnos y personal de la empresa Comercializadora KETER S.A. de C.V., proyecto desarrollado para el Departamento de Estampado, el cual realiza la operación de impregnación de imágenes sobre las prendas de vestir, cuya función primordial consiste en hacer pasar tinta a través de un tejido o malla tensada, en un marco de aluminio tubular actuando como molde de impresión, todo esto a través de una máquina automatizada mejor conocida como pulpo de serigrafía (ITST, 2019).

La metodología utilizada es SMED, desarrollada por Shingo, colaborador de Toyota durante más de 25 años, sirviendo también como consultor y formador de otras empresas japonesas a finales de los 70's, teniendo dicha metodología como objetivo final, el reducir los tiempos de preparación de maquinaria entre cambios de lotes de producción (Madariaga, 2013).

A continuación, se muestran los pasos para la ejecución de la metodología establecida por Shingo y que fue aplicada a las máquinas estampadoras de la empresa comercializadora KETER S.A. de C.V.

Paso 1. Descomponer el cambio en operaciones

Este paso consistió en formar un equipo de trabajo multidisciplinario, en el cual participaron personal de producción, ingeniería de procesos, mantenimiento; para esto se seleccionaron los operarios de los pulpos estampadores, mecánicos industriales y, por supuesto, los alumnos tesistas quienes estaban realizando su estancia como parte integral del desarrollo de su residencia profesional en una industria.



Figura 1. Formación del equipo de trabajo y al fondo el pulpo estampador

Posteriormente, se pasaron a filmar los cambios del herramental en los pulpos estampadores para visionar el cambio y descomponer dicho cambio en operaciones.

Paso 2. Separar las operaciones en externas e internas

El segundo paso consistió en identificar como externas, aquellas operaciones que pueden ejecutarse con la máquina en marcha, mientras ésta procesa la referencia saliente.

Una vez listadas todas las operaciones de cambio, se identifican cuáles de estas operaciones se realizan con la máquina en marcha (MM), operaciones externas o con la máquina parada (MP) en operaciones internas, tal como se aprecia en la Tabla 1, identificando con color verde las operaciones externas y en color gris las operaciones internas del tipo de cambio entre un lote de producción y otro en las máquinas estampadoras.

Tabla 1. Operaciones externas e internas

■ MM (Máquina en marcha).		■ MP (Máquina parada).	
N°	OPERACIÓN	MM/MP	
1	Preparación y limpieza de los marcos con el diseño a producir.		
2	Limpieza de los raceros y alimentadores de la máquina.		
3	Cambio del papel (pale tape).		
4	Realizar la distribución física de la secuencia.		
5	Encender la máquina automática de serigrafía.	■	
6	Programar la máquina, de acuerdo a la secuencia de la impresión de tinta sobre la prenda.	■	
7	Calibrar los cabezales asignados para el diseño en proceso (láser, ángulo, presión y velocidad).		
8	Centrar los marcos a la mitad de las paletas.		
9	Colocar líquido adhesivo sobre las paletas de la máquina.	■	
10	Tomar el lote de predas a producir.	■	
11	Centrar las paletas de la máquina.	■	
12	Tomar los útiles y colocar en estaciones.		
13	Realizar prueba piloto de la máquina con una prenda.	■	
14	Revisión de la prueba piloto.		
15	Aprobación de la prueba piloto.		
16	Encender para iniciar el proceso de estampado.	■	
17	Alimentar marcos (rellenar con tinta).		
18	Reutilizar los excesos de tinta que va apartando el alimentador.	■	
19	Suministrar líquido adhesivo sobre las paletas de la máquina.	■	■
20	Aplicar destapador de mallas.		
21	Aplicar aire comprimido.	■	
22	Apagar máquina.	■	
23	Entrega del lote que ha terminado el proceso.		
24	Devolución de materiales.		
25	Guardar útiles y secuencia del modelo anterior.		

Paso 3. Convertir operaciones internas en externas

Para convertir las operaciones internas en externas, es necesario realizar ligeras modificaciones en el utillaje, herramientas o adquisición de nuevos medios físicos. Para el correcto desarrollo del sistema SMED, se consideran aspectos muy importantes esencialmente para reducir las operaciones internas, actuando sobre los ajustes, las operaciones preproducción, la realización de actividades en paralelo, la mecanización de los procesos que los requieren y eliminación de los 8 desperdicios, mudas o despilfarros.

La palabra japonesa “muda” por sobreproducción es comprendida por el resultado de fabricar más cantidad de prendas estampadas de las necesarias o requeridas por el cliente, a continuación, se presenta la solución para este tipo de despilfarro, las cuales son la propuesta para empezar a aminorar los productos estancados y mitigar la producción en exceso de prendas estampadas.

- Creación de un modelo de Flujo Pieza por Pieza en inglés One Piece Flow, basado en los sistemas del JIT y Pull, debido a que, se tiene por objetivo producir únicamente lo que el cliente requiere en el tiempo que lo necesita, esto para formar una línea de producción continua, en la cual cada área del departamento de estampado se especialice en una actividad, es decir, que el área anterior de cada operación del departamento sea el proveedor de valor agregado a la siguiente estación.
- La posible instalación de un sistema Pull mediante tarjetas de trabajo Kanban, como un sistema para controlar el flujo de material y la producción de acuerdo con el principio del Kanban, el cual el material es ordenado por el consumo, esto significa sólo el consumo de la producción, este paso es posible de aplicar al momento de necesitar más consumible, es decir, tintas para suministrar a los marcos de cada diseño, creando únicamente la tinta necesaria y prevenir el stock de las mismas.
- Estandarización de las operaciones, esta metodología es necesaria para reducir la variabilidad de un proceso, teniendo como objetivo la realización de las operaciones de estampado controladas y gestionadas para que sean llevadas a cabo de la misma manera y poder conseguir resultados repetitivos.

Paso 4. Reducir las operaciones internas

Para reducir las operaciones internas se actúa sobre los ajustes, los elementos de fijación, los desplazamientos del operario y el trabajo en paralelo.

Los ajustes aumentan el tiempo entre un lote de producción y otro, el riesgo de problemas de calidad y la probabilidad de residuos en las paletas sobre las que se coloca la prenda. Cuando se hace referencia a estas actividades, nunca se debe confiar en la intuición y siempre se debe confiar en disponer de valores fijos, ajustes fijos y posiciones fijas, es por ello que se presentan las siguientes soluciones:

- Hacer las calibraciones correspondientes para cada diseño, conservando el valor de la graduación de cada modelo es estampado, esto para obtener una mayor precisión, utilizando un indicador dial y para la producción de diseños iguales, conocidos en planta como reordenes por parte del cliente.

Paso 5. Reducir las operaciones externas

Para reducir el tiempo que el operario dedica a la preparación externa, se actuará sobre las búsquedas, desplazamientos y esperas.

Estos dos desperdicios van de la mano, debido a que, la muda por transporte, es el resultado de un movimiento o manipulación de algún material innecesario, donde las máquinas y las líneas de producción deben estar lo más cerca posible y los materiales deben de fluir directamente desde un área del departamento de estampado a la otra, sin esperar colas de inventario. En este sentido, es importante optimizar la disposición de las máquinas y trayectos de los suministradores, que en este caso son los materiales generados por parte del área de cuadros y el área de tintas, además, cuantas más veces se mueven los artículos de un lado hacia otro existen mayores probabilidades de que resulten dañados, tal como la contaminación en las tintas o la ruptura de malla en los cuadros. En seguida se muestra la solución a este tipo de despilfarros:

- Redistribución de la maquinaria con un nuevo layout, para poder situar el área de cuadros y el área de tintas lo más cerca posible de las máquinas automáticas de serigrafía basados en células de fabricación flexibles.
- Creación de trabajadores polivalentes o multifuncionales, esto para crear grupos de trabajo en los cuales los operarios pueden ocupar los diferentes perfiles de los mismos, en algunas ocasiones la polivalencia ha venido de la mano de la creación de incentivos que animen a los empleados a ser polivalentes.

El tiempo perdido, nace como resultado de una secuencia de trabajo o proceso ineficiente, es decir, que los procesos están mal diseñados y provocan que los serigrafistas permanezcan parados mientras otros están saturados de operaciones. Esto se puede apreciar cuando en el departamento de estampado hay operarios de las máquinas automáticas esperando a que la prueba piloto sea verificada y aprobada para poder iniciar a producir y, mientras tanto, los demás serigrafistas están saturados de actividades relacionadas al proceso.

A continuación, se presenta la solución a este despilfarro, el cual se pretende reducir o eliminar durante el proceso de estampado:

- Debe de existir una nivelación de la producción, es decir, permitir la igualación de operaciones llevadas a cabo por la línea de estampado, que consiste en adaptar el flujo de producción de acuerdo con el comportamiento de los clientes de prendas estampadas, así entonces se mitiga el impacto causado por las fluctuaciones de la demanda, además de poder implementar fabricación en tipo de células U, la automatización con un toque humano, conocido como Jidoka y el adiestramiento polivalente de los operarios, esto para evitar mudas por tiempo de espera del próximo paso en el proceso.

Paso 6. Estandarizar el cambio.

Bajo el análisis de las operaciones del cambio de utillaje entre un modelo y otro del proceso de estampado, lo que se pretende demostrar en este apartado es la ejecución de manera visual de la Tabla 2, la cual corresponde a las actividades para llevar a cabo el proceso, teniendo como referencia su precedencia, la dependencia y la simultaneidad de cada una de las actividades, la cual es la siguiente:

Tabla 2. Operaciones externas e internas

CLAVE	OPERACIÓN	EXTERNA	INTERNA	CRÍTICA	CONVERSIÓN DE INTERNA A EXTERNA	SÍ O NO
A	Preparación y limpieza de los marcos con el diseño a producir.		✗	NO	CONVERTIR	▶
B	Limpieza de los raceros y alimentadores de la máquina.		✗	NO	CONVERTIR	▶
C	Cambio del papel (pale tape).		✗	NO	CONVERTIR	▶
D	Realizar la distribución física de la secuencia.		✗	NO	CONVERTIR	▶
E	Encender la máquina automática de serigrafía.	✓		SI	NO NECESARIO	▮
F	Programar la máquina, de acuerdo a la secuencia de la impresión de tinta sobre la prenda.	✓		SI	NO CONVERTIR	▶
G	Calibrar los cabezales asignados para el diseño en proceso (láser, ángulo, presión y velocidad).		✗	SI	NO NECESARIO	▮
H	Centrar los marcos a la mitad de las paletas.		✗	SI	NO NECESARIO	▮
I	Colocar líquido adhesivo sobre las paletas de la máquina.	✓		NO	NO CONVERTIR	▶
J	Tomar el lote de prendas a producir.	✓		NO	NO CONVERTIR	▶
K	Centrar las paletas de la máquina.	✓		SI	NO CONVERTIR	▶
L	Tomar los útiles y colocar en estaciones.		✗	NO	CONVERTIR	▶
M	Realizar prueba piloto de la máquina con una prenda.	✓		SI	NO CONVERTIR	▶
N	Revisión de la prueba piloto.		✗	SI	NO NECESARIO	▮
Ñ	Aprobación de la prueba piloto.		✗	SI	NO NECESARIO	▮
O	Encender para iniciar el proceso de estampado.	✓		NO	NO CONVERTIR	▶
P	Alimentar marcos (rellenar con tinta).		✗	SI	CONVERTIR	▶
Q	Reutilizar los excesos de tinta que va apartando el alimentador.	✓		SI	NO CONVERTIR	▶
R	Suministrar líquido adhesivo sobre las paletas de la máquina.	✓	✗	SI	CONVERTIR	▶
S	Aplicar destapador de mallas.		✗	NO	CONVERTIR	▶
T	Aplicar aire comprimido.	✓		NO	NO CONVERTIR	▶
U	Apagar máquina.	✓		SI	NO CONVERTIR	▶
V	Entrega del lote que ha terminado el proceso.		✗	NO	CONVERTIR	▶
W	Devolución de materiales.		✗	SI	CONVERTIR	▶
X	Guardar útiles y secuencia del modelo anterior.		✗	NO	CONVERTIR	▶

Fuente: Román, 2019

La Tabla 2, demuestra las operaciones que son consideradas para convertir a externas y las que no, debido a que, ya son externas o simplemente porque no es necesario convertirlas, ya que, son operaciones que, aunque sean internas, son necesarias en el proceso de estampación de la Comercializadora KETER S.A. de C.V., y por ello se decide a no considerarlas para el desarrollo de este análisis.

RESULTADOS

Tras el cálculo de la ruta crítica, las fechas del proceso y el grafo que indica el camino crítico, el conocimiento es útil, debido a que, permite controlar las actividades sabiendo cuáles tienen una fecha específica para su finalización y cuáles pueden retrasarse en su inicio y por cuánto tiempo, sin que el proceso de estampado se retrase.

Obteniendo resultados como:

- Permitir la toma de decisiones anticipadamente.
- Permite realizar la planeación de operaciones de serigrafía en paralelo.
- Facilita la asignación y el control de recursos, incluyendo al tiempo como el factor más importante de la planta.

- Presenta de manera ordenada, visible y con secuencia lógica las actividades del proceso de estampado realizado en la Comercializadora KETER S.A. de C.V.
- Ayuda a calcular la duración total del proyecto y a la determinación de las fechas a cumplir, el cual se muestra en la Tabla 3, representando los ahorros obtenidos con la metodología como medio de reducción del tiempo del 15.56% de cambio entre un lote y otro, además, la comparación del antes y después.

Tabla 3. Puesta en marcha

COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO	MINUTOS	PORCENTAJE
TIEMPO DE CAMBIO DE UTILLAJE ANTES	324.55	100.00%
TIEMPO DE CAMBIO DE UTILLAJE DESPUÉS	274.06	84.44%
TIEMPO DE REDUCCIÓN ESPERADO	15.56%	

CONCLUSIONES

Se dejó en claro para todo el personal involucrado en el proyecto de la reducción del tiempo de cambio de utillaje de la máquina de serigrafía de prendas, origina un proceso flexible, robusto y con entregas en el tiempo que se requieren, además, de la importancia de un nuevo cambio de cultura laboral al ser perseverantes para cumplir dicho objetivo, que fue el de reducir los tiempos de cambio de lote hasta en un 15%.

El desarrollo de este proyecto relacionado con la transferencia de tecnología deja en claro que el aprendizaje basado en proyectos genera en los educandos un aprendizaje significativo, ya que, para ejecutar soluciones a las problemáticas planteadas, demandó no solamente poner en práctica los conocimientos adquiridos en los últimos semestres de la carrera, sino que también los obligó a recurrir a analizar fuentes de información para acrecentar su acervo, llevándolos a hacer uso de bibliotecas virtuales, repositorios de información, uso de tics, además de fortalecer el desarrollo de las competencias genéricas como específicas.

Asimismo, se percibió que los alumnos no se aislaban, sino que compartían lo aprendido con sus compañeros y docentes enfatizando así el saber, el saber hacer, el saber ser y el saber compartir, esto quedó al descubierto cuando los alumnos siguiendo la metodología sugerida por el japonés Shingo, el cual les facilitó lograr la reducción de los tiempos de cambio de utillaje entre los lotes de producción.

Cabe mencionar que dos alumnos que estuvieron involucrados en este proyecto se titularon por la opción de tesis. Actualmente, se han integrado cinco alumnos en la gamma de dualidad que es una opción en donde se les validan algunas materias, siempre y cuando estén en la planta, dándole seguimiento al proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Carbonell, F. (2013). Técnica SMED. Reducción del tiempo preparación. *3c Tecnológica*, (2), 2

- De la Fuente, M. (2012). *Optimización de operaciones mediante la técnica SMED en una empresa de envases metálicos*. 6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management (págs. 1534-1541), Cartagena, Colombia
- García, M. Á. (2012). Definición de una metodología para una aplicación práctica del SMED. *Técnica industrial*, (298), pp. 46-54
- Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (2019). *Portal del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán*. Recuperado de: <http://www.itsteziutlan.edu.mx/index.php/correo/category/3-residencia-profesional>
- Instituto Tecnológico de Veracruz (2020). *Convocatoria 2019. Apoyo a la investigación Científica y Tecnológica en los programas educativos de los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros*. Recuperado de: <http://www.itver.edu.mx/index.php/enlaces/blog/convocatorias/229-convocatoria-2019-apoyo-a-la-investigacion-cientifica-y-tecnologica-en-los-programas-educativos-de-los-institutos-tecnologicos-federales-descentralizados-y-centros>
- KETER comercializadora (2019). KETERMEX. Recuperado de: <https://ketermex.com/>
- Madariaga, F. (2013). *Lean Manufacturing*. Madrid: Bubok Publishing
- Román, B. D. (2019). *Propuesta de Implementación del Cambio Rápido de Utillaje (SMED), en el Sistema de Serigrafía de Prendas de Vestir de la Comercializadora Keter S.A. de C.V. Puebla*. México: Tec de Teziutlán
- Tecnológico Nacional de México (2020). *Portal del Tecnológico Nacional de México*. Recuperado de <http://www.dgest.gob.mx/>