



Capítulo 3. HERRAMIENTA SMED



El objetivo de este capítulo es analizar la herramienta SMED.

A diferencia del anterior, en este capítulo se realiza un estudio más detallado de la herramienta SMED, siendo el objeto de estudio principal de este proyecto.

El autor considera importante incluir el capítulo para permitirle al lector comprender el porqué de la metodología en la implementación de la herramienta que se presentará en el capítulo siguiente.

1. Presentación del SMED.

SMED es el acrónimo de “Single Minute Exchange Of Die”, que literalmente quiere decir “cambio de una matriz en minutos de un solo dígito”. En la práctica atiende a una sistemática que permite ahorrar tiempo en el cambio de un producto a otro.

El objetivo de esta metodología es reducir el tiempo de inactividad de los equipos cuando cambia la serie o lote de producción. Se define “tiempo de inactividad” por cambio de herramental, al periodo que transcurre entre, el momento en que se detiene la producción por cambio de lote, hasta que se fabrica la primera unidad del siguiente producto en condiciones específicas de calidad y productividad.

La primera pregunta que se suele hacer al abordar esta metodología es:

¿Cuánto tiempo se puede ahorrar implementando SMED?

Lógicamente se puede ahorrar todo el que se quiera, realizando nuevas inversiones, pero la premisa básica del SMED como herramienta dentro de la filosofía de manufactura esbelta, es ahorrar todo el tiempo que se pueda realizando pequeñas inversiones, explotando al máximo los recursos presentes en la organización lo cual se remite al principio de mejora de la productividad.

Es difícil dar un porcentaje exacto del ahorro, ya que depende de varios factores:

- Generalmente es más sencillo conseguir ahorros más importantes de tiempo cuando la duración del cambio es superior a varias horas.
- La capacitación de los operarios. Toda medición, análisis o mejora que quiera implementarse se debe realizar con grupos homogéneos, entrenados y comprometidos.

Aun así, con relativa facilidad es posible estimar que se puede reducir entre un 30 o 40% del tiempo total, aunque sin conocer la situación particular de cada caso es poco recomendable aventurarse a dictaminar porcentajes de ahorro.



1.1 Algunas concepciones erróneas.

Algunos consideran que SMED significa: “cambio de herramienta en 1 minuto.”

En este concepto hay 2 errores:

- **“Single minute” (“Solo Minuto”).**

La expresión hace referencia a poder expresar el cambio entre lotes en minutos, utilizando un solo dígito. El SMED, pretende que el cambio sea realizado en menos de 10 minutos.

- **Esta metodología no solo involucra el tiempo que insume el cambio de herramienta.**

Se debe considerar el periodo desde la última pieza buena de un producto hasta la primera pieza buena del nuevo producto. Muchas veces, el tiempo de ajuste de la herramienta, el reinicio de producción con nuevos parámetros, entre otros, para poder producir la primera pieza buena del nuevo producto, es un componente que insume un tiempo considerable en el cambio, el cual la metodología pretende mejorar o bien eliminar.

Otro aspecto a destacar es que si bien la palabra “die” se refiere a matriz o troquel, la herramienta SMED es aplicable sea cual sea la herramienta involucrada en el proceso, generalmente se traduce como cambio de matriz ya que la terminología “SMED” surgió del análisis de Shingeo Shingo en Toyota para de la reducción del tiempo de cambio entre productos que eran manufacturados por medio de prensas de 1000 Toneladas de cierre.

1.2 Atributos de la filosofía.

El SMED tiene dos atributos muy importantes, y cada uno es esencial para asegurar el éxito en su implementación.

- **La metodología sigue el principio de la mejora continua.**

La primera vez que se aplica el método se logra una mejora, y este resultado es mejorado sucesivamente tras volver a aplicar el método desde el principio una y otra vez.

- **Se sustenta en el trabajo de equipo.**

Se requiere un grupo interdisciplinario para aplicar la metodología, donde cada individuo pueda realizar aportes en base a su experiencia y conocimiento.

El aporte individual de cada uno de los miembros, trabajando juntos como equipo permiten alcanzar la meta de un cambio rápido con el mínimo esfuerzo, pérdida de tiempo o calidad pobre.



2. Importancia de reducir el tiempo de inactividad de los equipos en el cambio de lote:

- A. Se reducen los desperdicios (esperas, movimiento, material, entre otros.)
- B. Se consiguen niveles de inventario más bajos, que tienen un impacto positivo en el flujo de caja de la empresa, y requieren menor movimiento de materias primas, WIP's (Inventario intermedio) y productos terminados.
- C. Se consiguen niveles de inventario más bajos, permiten un flujo de producción estable tirado por la demanda del cliente y por lo tanto facilita la implementación del sistema Kanban.
- D. El operador realiza menos actividades sin valor agregado y puede concentrarse en el trabajo que aporta valor añadido, el operador se vuelve más productivo.
- E. Se logra un impacto positivo en la calidad del producto, entrega y costo.
- F. Se reducen los tiempos de entrega, lo que implica un mejor nivel de servicio para el cliente.
- G. Se obtiene un incremento en la disponibilidad de la máquina para actividades de producción y por lo tanto aumenta la capacidad de la misma.

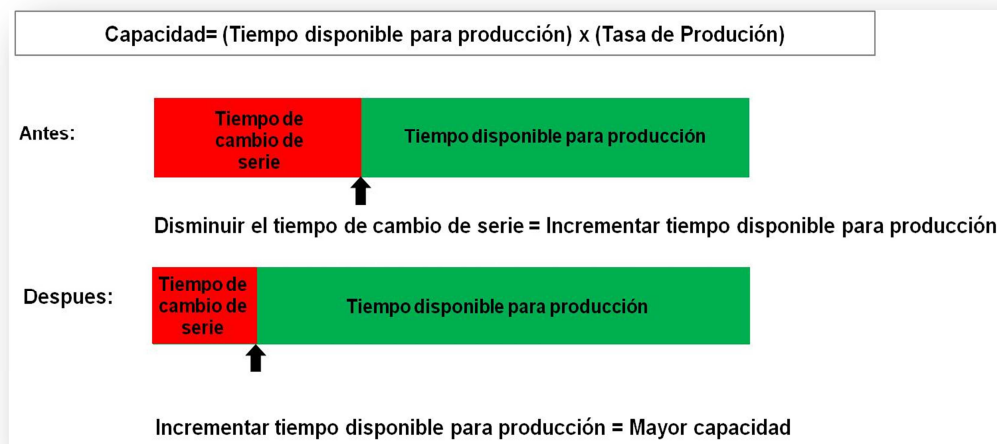


Gráfico 3.1: Muestra el incremento de capacidad de una maquina al disminuir el tiempo de cambio de serie.

- H. Evita la compra de bienes de capital frente falta de capacidad del equipamiento actual.
- I. Permite reducir tamaño de los lotes de fabricación, lo hace que sea más fácil de abordar el flujo de una sola pieza.



- J. Lotes más pequeños / corridas de producción más cortas, lo que permite una mayor flexibilidad en la producción.

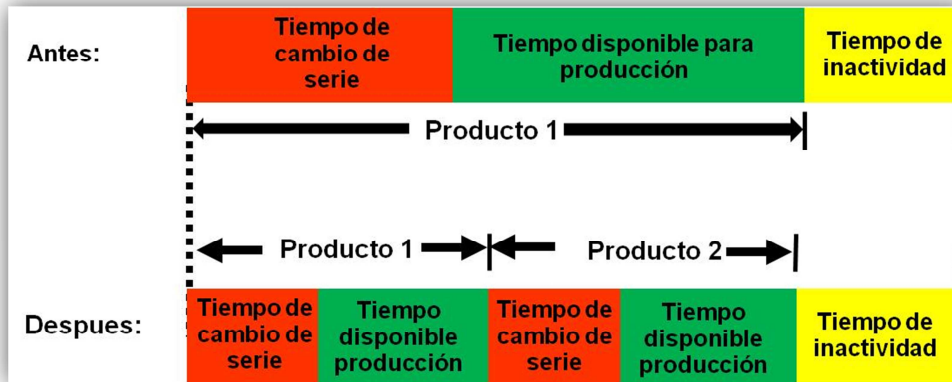


Gráfico 3.2: Muestra como la posibilidad de producir lotes más pequeños influye en la flexibilidad de la producción.

3. Shigeo Shingo, el principal exponente del SMED:



El Dr. Shingo es conocido como el padre del SMED y del “Poka-Yoke”. Es el autor de numerosos libros incluyendo: “El estudio del sistema de producción de Toyota”, “Una Revolución en la fabricación: El sistema de SMED”, “Control de calidad cero: La inspección de la fuente y el sistema Poka-Yoke”, “Estrategias dominantes para la mejora de la planta”, entre otros.

1909 Nacimiento en Saga, Japón, en 8 de enero.

1930 Se gradúa en el Colegio Técnico Yamanashi en ingeniería mecánica; empieza a trabajar en “*Taipei Railway Factory*” (Factoría del ferrocarril de Taipei).

1937 Asiste al primer curso de entrenamiento sobre ingeniería industrial, patrocinado por la “*Japan Industrial Association*”. Es instruido a fondo sobre el concepto de «análisis de movimientos».

1943 Es trasladado a la planta de fabricación “*Amano*” (Yokohama) bajo las órdenes del Ministerio de Municiones. Como Jefe de Sección de fabricación, aplica el concepto de operaciones en flujo a la producción de los mecanismos de regulación de la profundidad de torpedos e incrementa la productividad en el 100%.

1945 Bajo las órdenes del Ministerio de Municiones, es trasladado a “*Ishii Precision*” (Niigata), un fabricante de mecanismos similares para torpedos, con el propósito de mejorar las operaciones de la fábrica.



Con el fin de la guerra en agosto, acepta un puesto en “*Yasui Kogyo*” comenzando en abril de 1946 en la localidad de Takanabecho en la Prefectura Miyazaki.

En esta época visita la “*Japan Industrial Association*”, se le presenta a Morikawa, presidente del Consejo. Se le ofrece participar temporalmente en una investigación para mejorar las operaciones en la fábrica de automóviles de Kasado de “*Hitachi*”.

Durante el análisis de procesos de la fábrica “*Hitachi*”, percibe que «procesos» y «operaciones», que previamente se pensaban como entidades separadas y paralelas, formaban una «red de procesos y operaciones» -un conjunto sintético, sistemático.

1950 Perfecciona e implementa un método para determinar el «Layout» del equipo basado en un coeficiente de facilidad del transporte, aplicado en la refinería de cobre de Nikko de “*Furukawa Electric*”.

Analiza los trabajos de prensa en Toyo Kogyo y percibe que una operación de cambio de utillaje está compuesta de «preparación interna» (IED) y «preparación externa» (OED). Este concepto será el primer paso de SMED.

1954 En “*Morita Masanobu*” de *Toyota Motors* sigue un curso de tecnología de la producción y consigue espectaculares resultados cuando vuelve a su compañía. A partir de esto se le encarga a Shigeo Shingo la dirección de una serie de cursos en Toyota que empiezan en 1955.

1969 Mejora el cambio de útiles en una prensa de 1.000 toneladas en la fábrica principal de Toyota Motors, desde cuatro horas a la mitad. Pronto se le pide por la dirección de Toyota que reduzca el tiempo de cambio de útiles a tres minutos, y en una rápida intuición piensa en la transformación de la IEO en OED. Con esto, se crea una técnica sistemática para conseguir el SMED.

Observa la diferencia entre mecanización y automatización .

Esta observación evolucionó hacia el concepto de «preautomatización» el cual, como estimó Shingo más tarde, es idéntico a la «autonomación» de Toyota.

1970 Se le concede la Medalla *Yellow Ribbon* por sus contribuciones a la mejora del flujo de operaciones en la industria de construcción naval.

1973 Participa en viajes de observación de las industrias de maquinaria de Estados Unidos y Europa.

1978 Visita en Estados Unidos la compañía “*Federal-Mogul*” para proveer asesoría sobre el SMED. Tiene un éxito considerable la venta de un paquete audiovisual y de láminas sobre el SMED realizada por la “*Japan Management Association*”.

1981 Hace dos viajes, para proveer asesoría a los fabricantes de automóviles franceses “*Peugeot*” y “*Citroen*”. Viajes a Australia para observar a Toyota (Australia) y “*BorgWamer*”.

1982 Hace visitas de seguimiento de la asesoría a “*Peugeot*” y “*Citroen*” en Francia y queda impresionado por los considerables resultados conseguidos a través de la aplicación del SMED y la producción sin stocks. Imparte conferencias en la Universidad Chalmers en Suecia, Universidad de Chicago.

1990 Muere el 14 de Noviembre a los 81 años.



4. Los orígenes del SMED

4.1 El nacimiento de la metodología.

Shigeo Shingo en su libro *“A Revolution in Manufacturing: The SMED System”* cuenta que el nacimiento de la metodología SMED se remonta a un estudio de eficiencia que realizó en la planta *“Toyo Kogyo’s” Mazda* en Hiroshima en la primavera de 1950. Esta planta fabricaba vehículos con tres ruedas y el proceso de manufactura contaba con prensas de 350,750 y 800 Toneladas, todas trabajando debajo de su capacidad según el dueño de la empresa, es por esto que se contacta con Shigeo Shingo.

El dueño de la fábrica quería eliminar los cuellos de botella causados por las prensas de moldeo, él estaba convencido de que las prensas causaban los cuellos de botella y aún asignándole los trabajadores más eficientes y trabajando tiempo completo no podían llegar al resultado esperado, por lo que la única opción que veía, era la adquisición de nueva maquinaria.

Shingo le pidió al dueño de la empresa una semana para estudiar más profundamente la situación en la planta, haciéndose responsable de notificar a la gerencia de la necesidad de comprar nuevas maquinarias si no encontraba solución. Al tercer día de su visita pudo observar uno de los primeros cambios de herramientas en una de las prensas de 800 Toneladas.

Una vez que los operadores sacaron de la prensa el primer molde, a Shingo le llamó la atención la demora de los operadores para colocar el siguiente molde. Luego de consultarle a uno de los operadores porque no habían colocado el segundo molde, estos le contestan que no podían encontrar uno de los tornillos de anclaje, era por ello que no regresaban a la prensa a finalizar el cambio.

Los operarios, demoraron aproximadamente una hora y retornaron a la prensa con un tornillo similar extraído de una herramienta situada en paralelo, cortado a medida para que sirviese para el herramental que querían montar. Inmediatamente Shingo se preguntó en su interior que ocurriría cuando quisieran montar el herramental del cual se habría extraído el tornillo, siendo que el tornillo extraído ya había sido cortado para reemplazar el tornillo faltante en el cambio que observaba.

Es ahí cuando Shigeo cae en la cuenta de que las actividades en el cambio de serie pueden dividirse en 2 grupos:

- **“Internal set up”**, IED (Actividades de preparación internas):
El montaje de la matriz en la prensa o sacar los tornillos de anclaje.
Estas actividades pueden ser realizadas solo cuando la máquina está parada.
- **“External set up”**, OED (Actividades de preparación externas):
Transportar el molde que se terminó de usar al almacén o traer el molde a montar cerca de la prensa.
Estas actividades pueden ser realizadas con la máquina en marcha.



Preparar los tornillos de anclaje, era una operación externa. Shingo consideró que era una falta completa de sentido común frenar la operación de la prensa porque faltase un tornillo de anclaje para el nuevo molde, por lo que evalúa crear un procedimiento para las actividades externas.

Shingo estableció un procedimiento por medio del cual se separaron todos los tornillos de anclaje y se separaron en cajas de acuerdo a sus características. También se mejoró todo el proceso de cambio externalizando toda actividad de setup que fuera posible. Esto hizo que la eficiencia se incrementara en un 50% y el cuello de botella desapareció.

4.2 Origen de la terminología.

En 1969 Shingo visitó el taller de carrocería en principal planta de Toyota. Sugiura, el manager de la división, le comentó que tenían prensas de 1000 Toneladas que requerían 4 horas para cambiar de un molde a otro. Volkswagen en Alemania que contaba con prensas similares realizaba el cambio de molde en menos de dos horas y el manager le dio instrucciones precisas a Shingo de mejorar ese tiempo.

Shingo con la participación del gerente de planta y algunos operarios comenzaron el estudio, fue un trabajo realmente arduo distinguir entre las tareas internas y externas, tratando de mejorar cada una de ellas por separado. Luego de 6 meses de estudio tuvieron éxito en reducir el cambio de serie de 4 hs a 90 minutos.

Cuando Shingo visitó el taller de carrocería un mes después, al manager de la división le habían dado instrucciones precisas de lograr el cambio de serie en menos de 3 minutos. Atónito frente a este nuevo requerimiento Shingo pensó la forma de convertir las tareas internas en externas, se encerró en la sala de conferencias y escribió en un pizarrón 9 formas para reducir el tiempo de set up. Utilizando el nuevo concepto de externalizar las tareas internas luego de 3 meses de mucho esfuerzo se logró reducir el tiempo de setup a 3 minutos.

Con la esperanza de que el setup pudiese ser realizado en menos de 10 minutos, Shingo llamó a este concepto "*Single minute Exchange of Die*" SMED, que en castellano podría ser traducido como "Un solo minuto para cambio de utillajes".





Posteriormente el SMED fue adoptado en todas las plantas de Toyota y evoluciono como uno de los principales elementos del “*Toyota Production System*”. Su uso se fue extendiendo paulatinamente en diferentes compañías en Japón y en el resto del mundo.

Para Shingo (1989):

“Para hacer el SMED una realidad en el espacio de trabajo, simplemente debe demostrar sus métodos básicos a los trabajadores y dejarlos empezar una revolución SMED” (p.52)

5. Términos claves del SMED.

Tiempo total de cambio de serie.

El tiempo de cambio de serie es el periodo que transcurre desde la fabricación de la última pieza válida de una serie, hasta la primera pieza buena de la siguiente serie. Es importante recordar en que el cambio no termina hasta que se consigue sacar la primera pieza buena, ya que muchas veces el tiempo dedicado a las pruebas es superior al tiempo de preparación de la máquina.

El tiempo total de cambio de serie puede dividirse en 3 fases como lo muestra el gráfico:

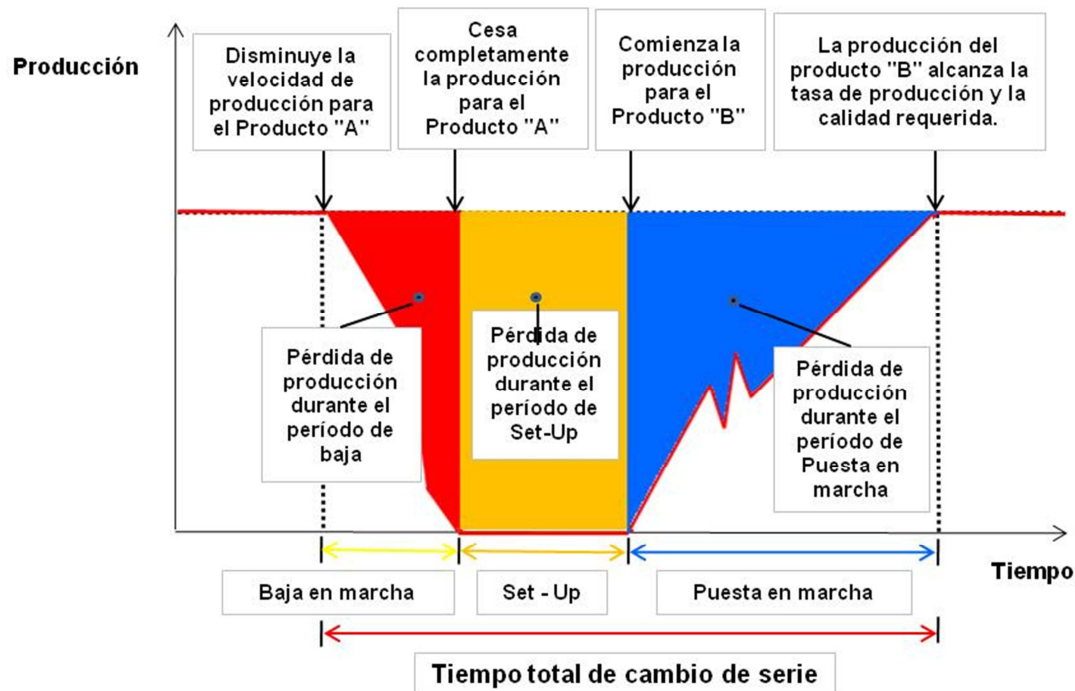


Gráfico 3.3 Representa el comportamiento de la producción durante el cambio de serie y sus pérdidas.

Fuente *Mass customization: concepts – tolos – realization*. Thorsten blecker fiedrich(2005)(p.379)



Período de baja (*Run Down*).

En algunos procesos se debe desacelerar un tiempo antes a la detención total de la producción, lo cual implica una disminución de la velocidad de producción previa al cambio de serie.

Período de Setup.

Es el intervalo durante el cual no ocurre manufactura. Suele estar representada por el cambio de configuración de la máquina, el ajuste y calibración del herramental antes del inicio del “*Run-Up*”, que incluye la manufactura aún no estabilizada.

Período de alta (*Run Up*).

El periodo de “*Run-Up*”, comienza cuando la manufactura del producto B se ha puesto en marcha y continúa hasta que se alcanza la producción estable a la capacidad deseada y con una calidad de producto aceptable. Muchas veces el tiempo de “*Run-Up*”, es varias veces mayor al tiempo de setup propiamente dicho.

Operación o tarea interna.

Tiempo transcurre durante el setup en el cual la no se produce manufactura y la máquina se encuentra detenida, o cuando la máquina se encuentra en marcha con el nuevo producto pero sin haber conseguido el nivel de calidad y estabilidad de proceso requerido este es el tiempo de puesta en marcha o run- up, cuando aún no se ha completado el cambio de serie.

Operación o tarea externa.

Período antes de que la máquina cese la producción para dar paso al setup. Este es el tiempo que frecuentemente contiene las actividades preparatorias previas a la detención de la producción.

6. Las 4 fases de SMED según Shigeo Shingo.

En su libro: “*A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*” Shingo define 4 fases conceptuales para el SMED:

Fase 0: No existe distinción entre las operaciones internas y externas.

En esta etapa preliminar, no hay una distinción entre actividades internas o externas. Muchas acciones que podrían ser desarrolladas como actividades externas, como la búsqueda de herramientas o reparaciones del herramental se realizan cuando la maquina esta parada.

Fase 1: Separación entre operaciones internas y externas.

Esta es la etapa crucial en la implementación del SMED según Shingo.



Corresponde a la separación de las operaciones internas de las operaciones externas.

Shingo sugiere hacer una lista de chequeo que incluya todas las partes, condiciones de operación y los pasos que deben realizarse mientras la maquina todavía esta en funcionamiento. Luego, se debe verificar el funcionamiento de todas las partes para evitar demoras durante el set up (Es decir con la máquina parada). Finalmente, se debe buscar e implementar el método más eficiente para transportar los herramientas así como las otras partes mientras la maquina esta en funcionamiento.

Fase 2: Conversión de operaciones internas en operaciones externas.

Se debe analizar la operación de cambio de serie actual para determinar si alguna de las actividades realizadas como internas pueden ser convertidas en actividades externas.

Por ejemplo, el precalentamiento de un molde que opera en caliente, mientras que la maquina está funcionando, elimina la necesidad de precalentamiento en el puesto, realizando ciclos de prueba hasta lograr la temperatura requerida en el molde, lo cual ocasiona perdida de tiempo y perdida por piezas que deben tirarse hasta que finalmente se alcanza la temperatura adecuada.

Fase 3: Mejora de todas las operaciones de cambio de serie, tanto internas como externas.

Se deben examinar las operaciones internas de cambio de serie como las externas para oportunidades adicionales de mejora. Se debe considerar eliminar el ajuste y racionalizar los métodos de anclaje.

Según Shingo, de todas las mejoras logradas con la técnica SMED, las acciones que probaron ser las más efectivas son:

- Clara separación entre las actividades internas y externas.
- Conversión de las actividades internas en externas.
- Eliminación de los ajustes.
- Anclaje sin tornillos.

Estos métodos pueden reducir el tiempo de setup en menos de una vigésima del tiempo anterior.

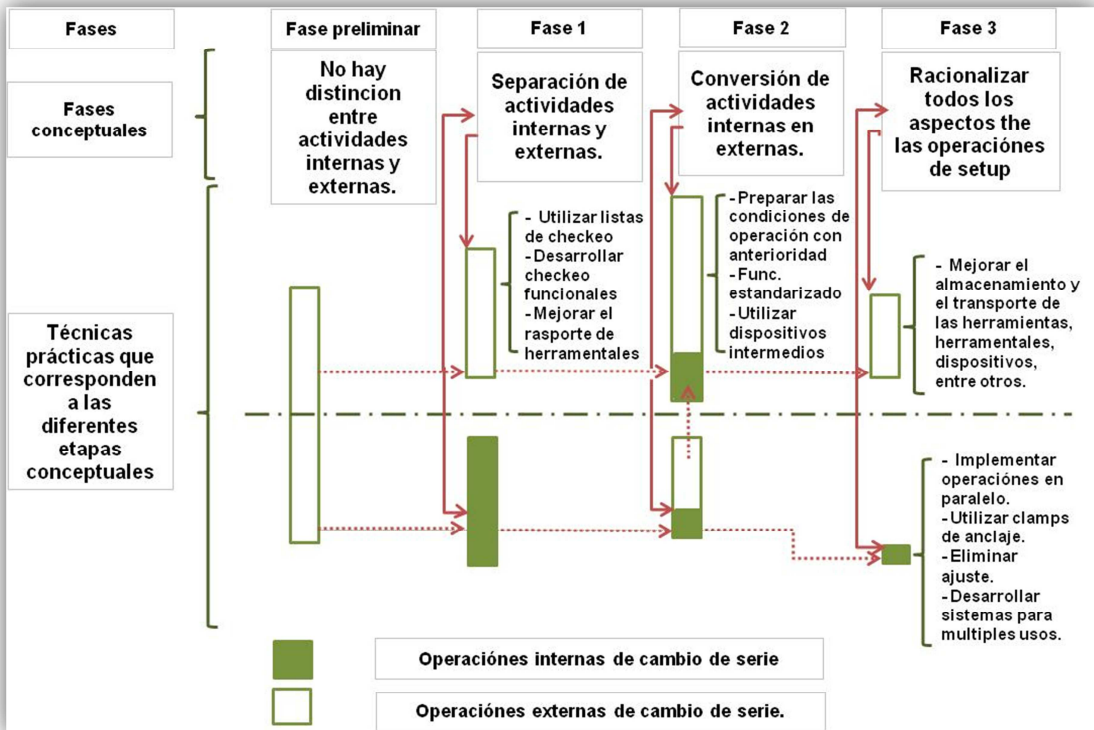


Gráfico 3.2: Las fases conceptuales y las técnicas prácticas de mejora.

Traducción realizada por el autor en base a la gráfica expuesta por Shingeo Shingo "A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint", 1989, p56.

7. Descripción de la metodología y herramientas para su implementación.

Como se mencionó en el apartado anterior el método SMED se puede dividir en etapas:

- Fase 0:** No existe distinción entre las operaciones internas y externas de setup.
- Fase 1:** Separación entre operaciones internas y externas de setup
- Fase 2:** Conversión de operaciones internas en operaciones externas.
- Fase 3:** Mejora de todas las operaciones de setup, tanto internas como externas.

En este apartado se pretende realizar una descripción más profunda de cada una de las fases.

A continuación se muestra un gráfico con la implementación completa de la metodología para permitirle al lector adquirir un panorama global del método. Posteriormente se explica individualmente cada una de las fases.

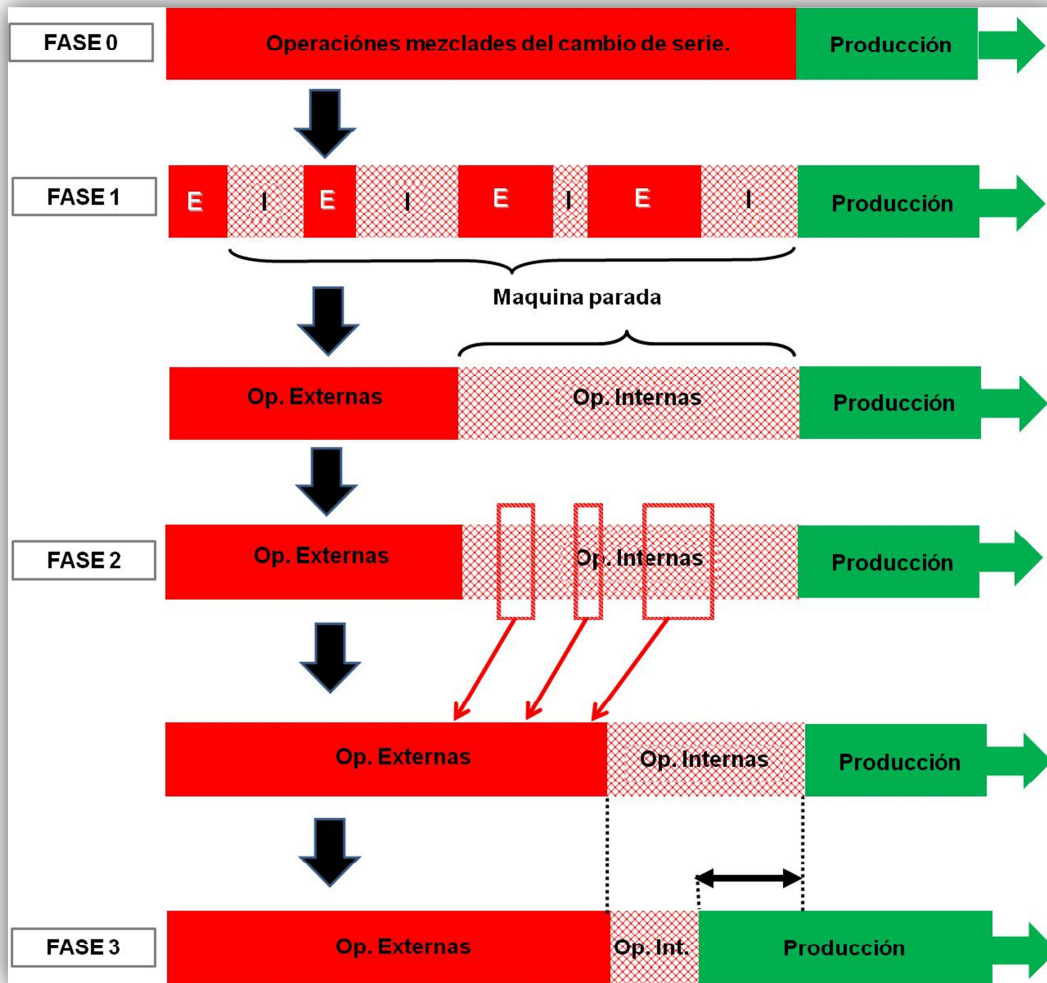


Gráfico 3.3: Esquema de las fases del SMED y su relación con las operaciones internas y externas.

8. Condiciones para la aplicación exitosa de la metodología.

Antes de comenzar con la descripción de cada una de las fases, se exponen algunas condiciones para que la implementación del SMED sea un éxito:

- A. Toda la organización tiene que tomar conciencia de la importancia que tiene para la empresa y sus actividades la disminución de los tiempos de preparación.
- B. Hacer tomar conciencia de la problemática a los empleados, y prepararlos mediante la capacitación y el entrenamiento a los efectos de incrementar la productividad y reducir los costos mediante la reducción en los tiempos de preparación.
- C. Hacer un cambio de paradigmas, para terminar con las creencias acerca de la imposibilidad de disminuir radicalmente los tiempos de preparación.



- D. Cambiar la manera de pensar de los directivos y profesionales acerca de las técnicas y medios para el análisis y mejora de los procedimientos.
- E. Se debe dejar de estar pendiente de métodos ya contruidos, para pasar a crear sus propios métodos. Cada actividad, cada máquina, cada instrumento, tienen sus propias y especiales características que las hacen únicas y diferentes, razón por la cual sólo se puede contar con un esquema general y una capacidad de creatividad aplicada a los efectos de dar o encontrar solución a los problemas atinentes a la reducción en los tiempos de preparación.
- F. Se debe dar importancia clave a la reducción de los tiempos, tanto de preparación, cómo de proceso global de la operación productiva, dado sus notorios efectos sobre la productividad, costos, cumplimiento de plazos y niveles de satisfacción. Por ésta razón se constituye su tratamiento en una cuestión de carácter estratégico.

Es necesario desterrar en muchos casos viejas costumbres y métodos de trabajo adquiridos durante muchos años. Es por eso por lo que esta fase es muy delicada, puesto que la actitud de las personas a los cambios de hábitos suele ser negativa. Para paliar estas posibles dificultades es preciso realizar nuevas tareas de formación e información, no sólo de la filosofía SMED, también explicando detenidamente cuál es la nueva forma de trabajar, hasta que la nueva forma de trabajo se convierta en la habitual.

Es muy importante hacer partícipe cada miembro de la organización, ya sea estando al tanto de la nueva metodología que se está implementado como así también de los beneficios obtenidos. Es de suma importancia considerar que las personas necesitan ver resultados a corto plazo, por más pequeños que sean los logros, se debe mantener informado al personal de todo lo que se gana con el trabajo realizado en la implementación del método, esto los mantendrá interesados y motivados para continuar trabajando para la mejora continua.

9. Descripción de las fases del SMED.

9.1 Fase 0: No existe distinción entre las operaciones internas y externas de setup.

En un inicio no existe distinción entre las operaciones internas y externas, no se conocen exactamente los actores del proceso de cambio, cuales son las actividades desempeñadas por los operadores y mucho menos el tiempo real que les insume esta actividad.

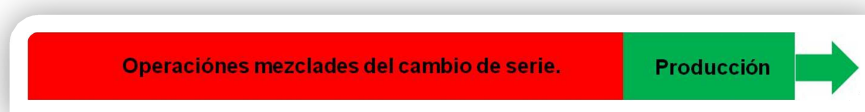


Gráfico 3.4: Esquema de la FASE 0 del SMED.



El objetivo de esta primera etapa es recopilar toda la información posible acerca del cambio, consiste en un análisis preliminar que permitirá plasmar la situación actual, esencial para que en las fases posteriores se pueda analizar la posibilidad de implementar mejoras.

Se pretende identificar a las personas involucradas en el cambio así como las máquinas y herramientas empleadas durante todo el proceso. Respecto a las actividades desarrolladas por cada uno de los miembros participantes, se debe efectuar un profundo análisis de las operaciones realizadas, desglosándolas en actividades simples, fáciles de comprender y de medir, lo que permitirá determinar el tiempo que insume cada tarea en el cambio de serie.

Además de conocer las operaciones que se realizan como el tiempo que insume cada una de ellas, es fundamental comprender por qué se realizan las diferentes actividades y el valor que estas agregan al cambio de serie. En algunos casos será muy evidente, aunque en otros, es posible que nadie sepa explicar realmente por qué se realiza una tarea, y que esta simplemente se deba a un mal hábito y no sea parte esencial del proceso.

La información que se pretende obtener de esta etapa:

- Personas involucradas.
- Maquinaria y herramienta que se utiliza.
- Registro de los tiempos del cambio.
- Registro de las actividades y los movimientos de los operarios.
- Registros de la trayectoria de los operadores.

Para conseguir esta información es necesario:

- Realizar la grabación del cambio completo y sacar fotografías.
- Realizar mediciones de tiempo con un cronómetro
- Entrevistar a las personas involucradas
- Registrar cualquier detalle que parezca fuera de lo común.

Esta etapa es clave para el éxito del análisis posterior, ya que lo que no se conoce no se puede mejorar. El tiempo que se invierte en el estudio de la fase preliminar es puro valor agregado, ya que mientras más información aporte el análisis, menor es la probabilidad de posteriores pérdidas del tiempo por no haber descrito la dinámica de cambio de forma correcta.

Herramientas que facilitan el trabajo de análisis en esta etapa:

A. Equipo multidisciplinario.

Es necesario contar con un equipo interdisciplinario para recopilar toda la información acerca del cambio, realizando las actividades que se mencionaron con anterioridad (cronometraje, filmación, registro de actividades, etc.). Además, al contar con un equipo de personas que pertenecen a diferentes áreas con diferentes conocimientos, experiencias y punto de vista, el análisis posterior de los datos obtenidos será mucho más fructífero.



B. Manual de la máquina y especificaciones de los herramientas, procedimientos y especificaciones de Higiene y seguridad.

Al momento de realizar el cambio de herramienta, se podrá observar que el operador ya sea de producción o mantenimiento o bien quien participe en el cambio de serie, modifica las posiciones de algunos comandos o interruptores en la máquina, realiza conexiones o cambia de posiciones diferentes componentes de la herramienta.

- **El manual de la máquina:**

Permite comprender el funcionamiento general y ya en las primeras páginas permite al lector noción general de los parámetros bajo los cuales la máquina opera en condiciones normales, los componentes esenciales de la misma, entre otros aspectos. En las máquinas más modernas, el mismo manual de la máquina provee algunas indicaciones para realizar el cambio de herramienta.

- **La especificación técnica del herramienta:**

Es indispensable conocer el principio de funcionamiento y los elementos básicos que componen el herramienta, de manera de poder utilizar esta información al momento de realizar un análisis más profundo de las actividades desempeñadas en el cambio de serie.

- **Procedimientos y especificaciones de Higiene y seguridad:**

Es fundamental tener en cuenta aquellos aspectos que involucran a la higiene y seguridad, como por ejemplo aquellos elementos de protección personal deben ser utilizados frente a los riesgos de la operativa, los procedimientos de bloqueos de las máquinas que no pueden eludirse en el proceso de cambio de serie, los procedimientos de transporte, cuales son los requisitos de limpieza del puesto para que el mismo pueda ser liberado, entre otras cuestiones, de manera de tener en cuenta todo el contexto y no incurrir en el grave error de eludir algunos aspectos que podrían atentar contra la seguridad del trabajador.

C. Filmadora o cámara:

Es fundamental registrar el cambio de serie por medio de una filmación. La filmación otorga la ventaja de que se puede repetir las veces necesarias para realizar un análisis más detallado, permitiendo desglosar las actividades, captar detalles que en la observación del cambio completo se perderían y realizar la medición de tiempo parcial de cada una de ellas.

Cuando se observa un cambio directamente in situ, muchos detalles pueden ser pasados por alto por más que haya un grupo de personas que pongan foco diferentes actividades, incluso algunas actividades pueden ser pasadas por alto, es la filmación la que finalmente nos permitirá un análisis más certero y detallado.



Se recomienda tomar un plano donde entren todas las personas o bien que existan tantas cámaras como personas participantes en el cambio de serie, lo cual favorecerá a un estudio mucho más detallado y certero.

D. El Cursograma analítico.

Es un diagrama que tiene como principal objetivo proporcionar una imagen clara de toda la secuencia de los acontecimientos del cambio de serie, otorga la posibilidad de estudiar las operaciones dentro del cambio de serie.

Permite:

- Identificar las operaciones y parámetros del proceso requeridos para un cambio de serie efectivo.
- Identificar las operaciones internas que pueden ser convertidas en externas y aquellas posibles tareas que pueden llevar a trabajo de operarios en paralelo o en las que se puede proponer una mejora tecnológica.
- Permite individualizar cada operación y discriminar su duración.

9.2 Fase 1: Separar operaciones internas y externas.

En esta fase, el primer paso consiste en realizar un listado de las actividades realizadas durante el cambio de serie, para poder identificar cuáles son internas (realizadas con la máquina parada) y cuales son externas (ejecutadas con la máquina en funcionamiento).

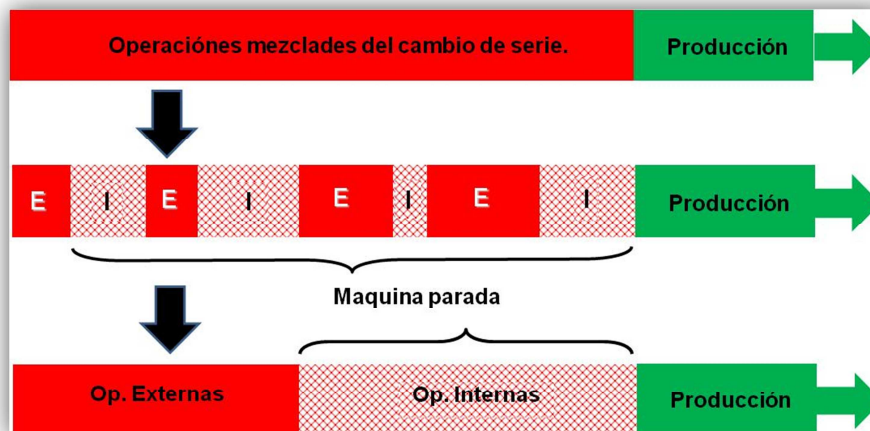


Gráfico 3.5: Esquema de la FASE 1 del SMED.

Conformado el listado con la totalidad de actividades desarrolladas en el cambio, al momento de clasificar las actividades, se detectan problemas a simple vista, que forman parte de la rutina de trabajo:

- Se sabe que la preparación de las herramientas, piezas y útiles no debe hacerse con la máquina parada, pero se hace.



- Se sabe que el puesto de trabajo debe estar despejado para permitirle al operador que realiza el cambio de herramental pueda operar correctamente, pero muchas veces se empieza a despejar el puesto recién cuando la máquina esta parada. Incorporando movimientos y desplazamientos a las actividades internas que perfectamente podrían hacerse con la máquina funcionando.
- El operador de producción esperando que la materia prima llegue al puesto de trabajo con la máquina parada.

Es muy útil realizar una lista de chequeo con todas las partes y pasos necesarios para una operación, incluyendo nombres, especificaciones, herramientas, parámetros de la máquina, de esta forma se adquiere un conocimiento más profundo acerca de cómo se desarrollan las diferentes actividades en el cambio de serie lo que facilitará la actividad de la fase siguiente.

9.3 Fase 2: Convertir operaciones internas a externas

Una vez que se han desglosado todas las operaciones y han clasificadas en operaciones internas y externas de acuerdo a la forma en que se realizó el cambio, es necesario estudiar una por una, partiendo siempre con la misma pregunta:

¿Esta operación se podría hacer con la máquina en funcionamiento?

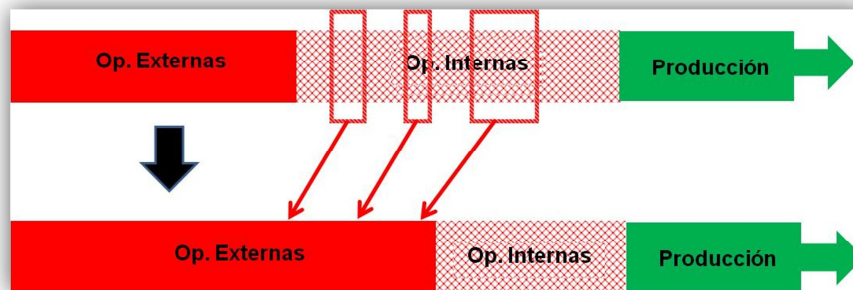


Gráfico 3.6: Esquema de la FASE 2 del SMED.

Algunas actividades realizadas como operaciones internas quedan muy a la vista que corresponden a operaciones que pueden ser realizadas con la máquina en funcionamiento como por ejemplo, transporte de herramientas, retiro de rack de productos terminados del herramental que se cambió, entre otros.

Es importante entender que todas aquellas operaciones que se puedan realizar con la máquina en marcha acortaran el tiempo de cambio con la máquina detenida.

Por otro lado, puede pensarse que todas las operaciones que se realizan durante el cambio de serie son necesarias, pero al analizar de modo crítico y analítico cada una de las operaciones se observa que son muchos los movimientos innecesarios, en algunos casos simplemente por no tener todos los útiles y herramientas convenientemente organizados o localizados. Incluso el tiempo de cambio con la máquina parada puede sufrir un notorio incremento por la falta de comunicación entre los actores involucrados, por un flujo de información no definido adecuadamente o por falta de canales de comunicación eficientes.



Para convertir las operaciones internas en externas se debe pensar en, modificaciones del método de trabajo, redistribuciones de operaciones, sincronización de tareas, entre otros.

Al realizar el SMED, es importante no sólo considerar la duración del cambio de serie, sino también de los periodos de fabricación, que influyen directamente de distintas maneras:

- A. En el caso de corridas de producción muy cortas puede darse el caso de que los operarios no tengan tiempo suficiente para poder realizar todas las operaciones externas.
- B. Si se trata de una máquina que no es automática, o simplemente que los operarios están saturados de trabajo en otras operaciones, será necesario ver cuál es la carga de trabajo de los mismos, de tal manera que se determine si tienen tiempo suficiente para realizar las tareas o no.

9.4 Fase 3: Optimización de operaciones internas y externas.

En esta fase 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.

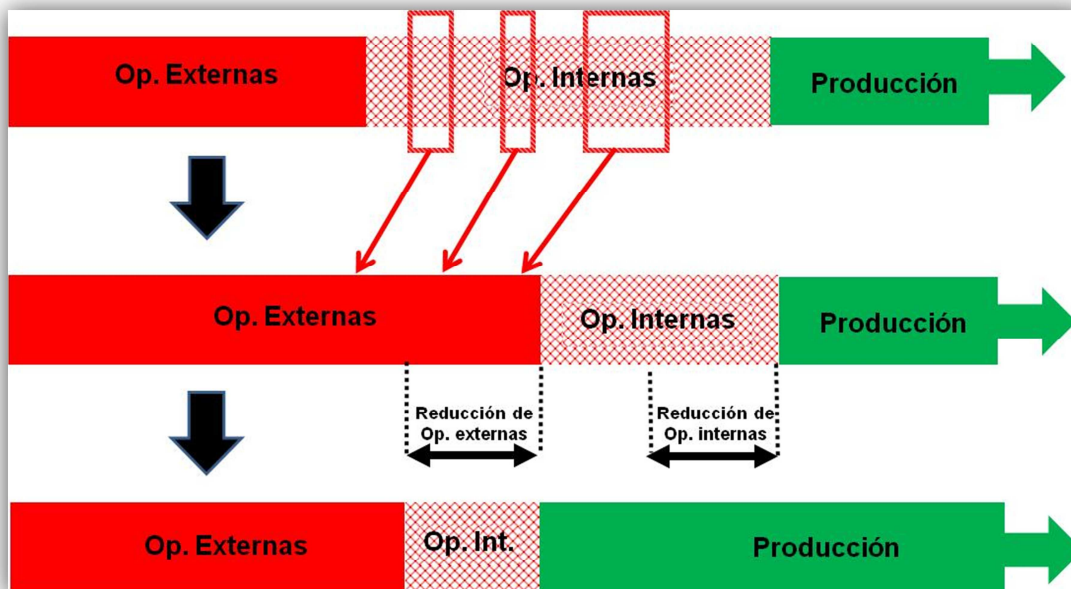


Gráfico 3.7: Esquema de la FASE 3 del SMED.



10. Las 8 técnicas del SMED para reducir el tiempo de setup según Shigeo Shingo:

Técnica 1: Separar las operaciones internas de setup de las externas:

Se debe identificar claramente cuál de las operaciones deben ser realizadas cuando la máquina esta parada, y cuales actividades pueden ser realizadas mientras la máquina está funcionando. Por ejemplo, toda preparación o transporte de herramientas, dispositivos, calibres, herramientas y materiales, desde y hacia la máquina pueden ser realizadas mientras la maquina está en funcionamiento.

Las operaciones internas deben limitarse a sacar el herramental actual y colocar el nuevo herramental así como su anclaje.

Por medio de una simple separación y organización de las operaciones internas y externas el tiempo de cambio de serie puede ser reducido de 30 a 50%.

Técnica 2: Convertir operaciones internas en externas:

Este es el principio más poderoso del sistema SMED según Shingo. Esta conversión implica reexaminar las operaciones para revisar si algún pasó se asumió equivocadamente para confundir la operación en interna, permite encontrar diferentes formas de convertirlas operaciones internas en externas.

Para evitar tiempo en el ajuste de altura de los platos de una prensa, los moldes o matrices pueden tener una altura estandarizada añadiendo placas o bloque planos debajo de la herramienta inferior.

Otra conversión muy simple para herramientas que operan en caliente consiste en un precalentamiento previo, de esta forma se evitan aquellos ciclos de ajuste en prensa hasta que el herramental alcanza la temperatura adecuada.

Técnica 3: Estandarizar funciones, no formas.

Estandarizar la forma y el tamaño de los moldes o matrices puede reducir el tiempo de cambio de serie considerablemente. Pero la estandarización de la forma es inútil porque todos los herramientas van a tener que operar en las condiciones de funcionamiento del molde más grande, lo que va a incrementar los costos innecesariamente. La estandarización de las funciones por el otro lado requiere solo una uniformidad en las partes necesarias para las operaciones de cambio de serie.

Por ejemplo incorporar un bloque a la herramienta inferior para estandarizar la altura de la herramienta hace posible que se utilicen los mismos dispositivos de anclaje en los diferentes cambios de serie.

Técnica 4: Utilice dispositivos de anclaje funcionales o elimine sujetadores.

El tornillo es el dispositivo de anclaje más usado, pero ajustarlo para conseguir la adecuada sujeción del molde puede insumir mucho tiempo.



Por ejemplo, considere un tornillo con 15 roscas, a este se le deben dar 14 vueltas para ajustarlo y finalmente, la última vuelta es la que fija el molde. (Es necesario tener en cuenta que el estiramiento producido por el torque para el ajuste no lo condicione)

Desde el punto de vista práctico, la última vuelta es la que realmente ajusta el tornillo para fijar la herramienta, las otras 14 vueltas son una pérdida de tiempo o movimiento inútil. Si el propósito del tornillo, es ajustar o desajustar debe tener el largo suficiente para ajustarlo en una vuelta. Esto haría del tornillo un dispositivo de anclaje funcional.

Los tornillos roscados no son la única forma de fijar un herramental. Existen dispositivos de fijación “one touch” (De un toque) como cuñas, clamps, o resortes que reducen el tiempo de cambio de serie considerablemente ya que generan un bloqueo que simplifica el ajuste y la unión de la herramienta. Estos métodos pueden reducir el tiempo de cambio a segundos.

Técnica 5: Utilice dispositivos intermedios.

Algunas de las demoras debido al ajuste durante el tiempo interno de cambio de serie pueden ser eliminadas utilizando dispositivos intermedios estandarizados como se muestra en la siguiente figura:

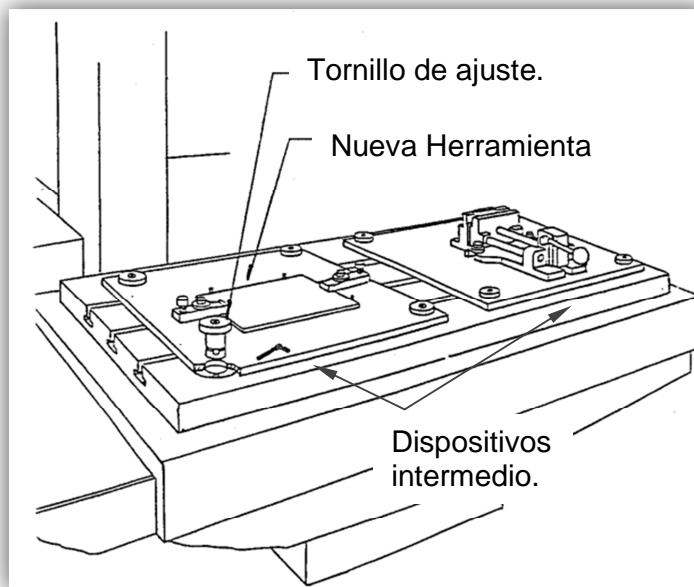


Figura 3.1: Esquema de un dispositivo intermedio.
Fuente: http://ac.aa.uam.com/Trietsch/Web/chap_new.023

Los dispositivos intermedios son accesorios que se utilizan para unir las piezas de trabajo en una posición pre determinada fuera de la máquina. Lo que permite convertir tareas internas en externas para el cambio de producto. Cuando el dispositivo intermedio se fija a la máquina, la pieza, ya está ajustada en la posición correcta para su procesamiento.



Para poner en evidencia el concepto de dispositivo intermedio se expone un ejemplo práctico de piezas que se procesan en un centro de mecanizado.

Considérese una pieza que está siendo procesada unida a un dispositivo intermedio estandarizado (Podría considerarse como un sub plato), que a su vez está unido al plato de la máquina (Figura 3.1 y Figura 3.2)

Mientras que la pieza que mencionada, está siendo procesada, la pieza siguiente está siendo centrada y unida a un segundo dispositivo intermedio. Cuando la primera pieza está siendo terminada, la pieza unida al segundo dispositivo es fácilmente montada por medio de tornillos de ajuste al plato de la máquina para su procesamiento.

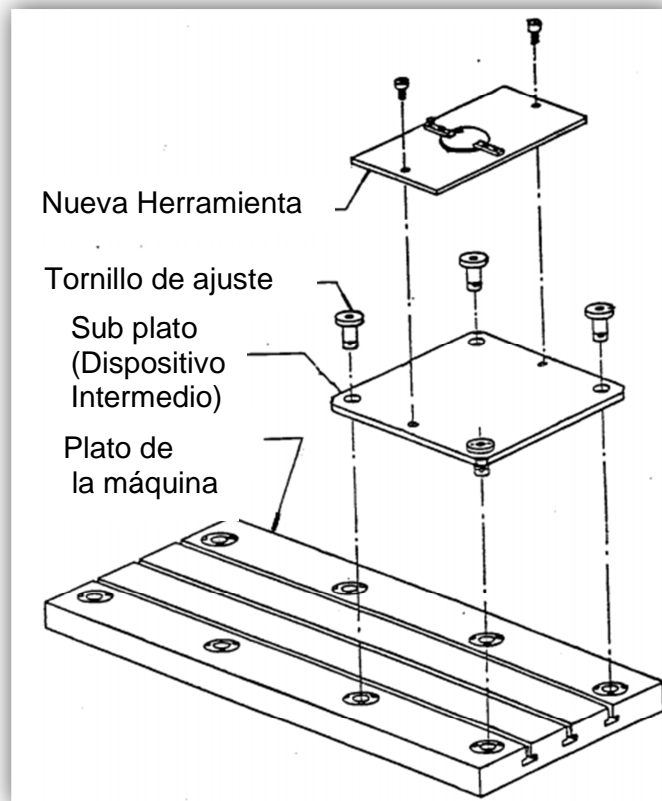


Figura 3.2: Esquema detallado de un dispositivo intermedio.
Fuente: http://ac.aua.am/Trietsch/Web/chap_new.023

Los dispositivos intermedios se utilizan para externalizar la operación de centrado de la máquina. Con esta mejora, la máquina solo necesita parar sólo cuando se necesita quitar los dispositivos intermedios.

Otras ventajas que pueden destacarse es que no requieren que las piezas que se van a procesar sean piezas estándar, también hacen es posible transferir un dispositivo intermedio de una máquina a otra,



Técnica 6: Adopte operaciones en paralelo.

Las operaciones en el cambio de serie de herramientas de moldeo de plástico y matrices de moldeo en prensas involucran actividades en ambos lados de la máquina, parte frontal y posterior.

Si sólo un trabajador realiza estas actividades, las pérdidas de tiempo y movimiento inútiles son altos, ya que el operador debe desplazarse del frente a la parte trasera de la máquina. Pero cuando dos operarios realizan las actividades en paralelo, el tiempo de cambio de serie generalmente se reduce en menos de la mitad.

Por ejemplo, una operación que le lleva 30 minutos a un solo operario, puede ser realizada en 10 minutos con dos operarios. Cuando se emplean operaciones en paralelo, las horas hombre empleadas en el cambio de serie son las mismas o menores que las que se utilizarían si sólo un operador las realizara, pero el tiempo operativo de la máquina se incrementa. Este método es frecuentemente rechazado por gerentes que piensan que no pueden perder otro trabajador para asistir en el cambio.

Cuando el set up se reduce a 9 minutos o menos, solo se requieren 3 minutos de asistencia de un segundo trabajador y con el setup simplificado, incluso trabajadores no altamente calificados pueden proveer la asistencia necesaria de forma eficiente.

Es importante destacar que las tareas deben estar muy bien pautadas y debe existir un procedimiento que permita la comunicación permanente de los trabajadores involucrados porque esta implícito el riesgo de graves accidentes por desincronización.

Técnica 7: Eliminar el ajuste.

El establecimiento de las condiciones iniciales para un proceso y los ajustes, involucran entre el 50 y 70% del tiempo interno de setup, por lo que su eliminación produce un importante ahorro de tiempo.

Eliminar el ajuste empieza con el reconocimiento de que el establecimiento de las condiciones iniciales para un proceso y el ajuste son dos funciones distintas y separadas.

El establecimiento de las condiciones iniciales para un nuevo producto es una operación necesaria cada vez que se realiza un cambio de producto.

Por otra parte, el ajuste incluye la corrección de estas condiciones iniciales. Por lo tanto, si se puede conseguir el correcto establecimiento de las condiciones iniciales para un nuevo producto desde el principio, no debería haber necesidad de ajustes.

Consideremos como ejemplo un interruptor de fin de carrera cuya posición determina la longitud de una pieza a mecanizar.

- El establecimiento de la condición inicial implica cambiar la posición del interruptor debido al cambio de la longitud de la pieza a mecanizar.
- El ajuste ocurre cuando el interruptor es testeado repetidamente en la nueva posición.



Para este ejemplo, el ajuste puede ser eliminado si se utiliza un calibre para determinar precisamente la posición correcta del límite del interruptor. Luego, el establecimiento de la condición inicial, (en este caso el posicionamiento del interruptor) para adaptar la nueva longitud de la pieza a mecanizar sería la única operación requerida.

Asumir que el ajuste es inevitable lleva a largos tiempos de actividades internas y requiere un elevado nivel de habilidad y experiencia por parte del operador. Uno de los obstáculos más frecuentes para eliminar los ajustes es que se utilizan dispositivos que permiten realizar diferentes cambios de serie de forma continua e ilimitada, mientras que lo que se necesita es una cantidad de condiciones iniciales limitadas

El sistema “*least common multiple system*” (LCM) se basa en el principio de que el ajuste puede ser eliminado completamente cuando el número de condiciones iniciales para procesar los diferentes productos es limitado e invariable.

Considérese el siguiente ejemplo: En una planta se utiliza un interruptor para indicar el punto final de mecanizado en un eje. Como hay ejes con 5 longitudes diferentes, el interruptor se tiene que mover a 5 ubicaciones diferentes. (5 condiciones iniciales diferentes). El interruptor no puede ser posicionado correctamente con menos de 4 pruebas de producción para realizar el ajuste cada vez que se cambia la producción para un eje de diferente longitud.

Instalando 5 interruptores en las 5 localizaciones correspondientes, cada uno equipado con un interruptor eléctrico que es alimentado independientemente de los otros interruptores este problema fue eliminado. Finalmente se logró un cambio de serie que solo requería habilitar para que actúe uno de los interruptores, este es finalmente el objetivo de los sistemas LCM.

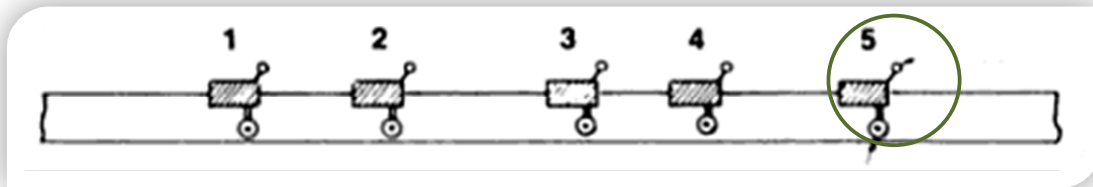


Figura 3.1: Sistema LCM: 5 interruptores reemplazando el sistema de un solo interruptor (este señalado en verde) para indicar la posición de la longitud de los ejes a mecanizar

Técnica 8: Mejoras mecánicas.

Por más que el cambio de troqueles, dispositivos y calibres es bastante sencillo, las mejoras mecánicas son frecuentemente esenciales para un movimiento eficiente de matrices o grandes moldes. Mecanismos neumáticos e hidráulicos pueden ser utilizados convenientemente así como el cierre de una prensa por medio de motores. De todas formas, las inversiones en mejoras mecánicas deben ser analizadas cuidadosamente, sin perder de vista el propósito de la operación.



Toda mejora mecánica debe ser considerada solo después de haber realizado todo esfuerzo para mejorar el tiempo de setup utilizando las técnicas descriptas con anterioridad.

Los 7 primeros principios pueden reducir el tiempo de setup de 2 hs a 3 minutos y las mejoras mecánicas probablemente van a reducir este tiempo pero solo en un minuto.

El SMED es una aproximación analítica para mejorar el tiempo de setup, mientras que la mejora mecánica es solo un componente. Buscar la mejora del tiempo del cambio de serie por medio de mejoras mecánicas va a reducir el tiempo de setup inicial pero no va a remediar las ineficiencias básicas de un proceso de cambio diseñado pobremente. La mecanización se justifica luego de que han pasado por el estudio y mejoramiento de los 7 principios anteriores.

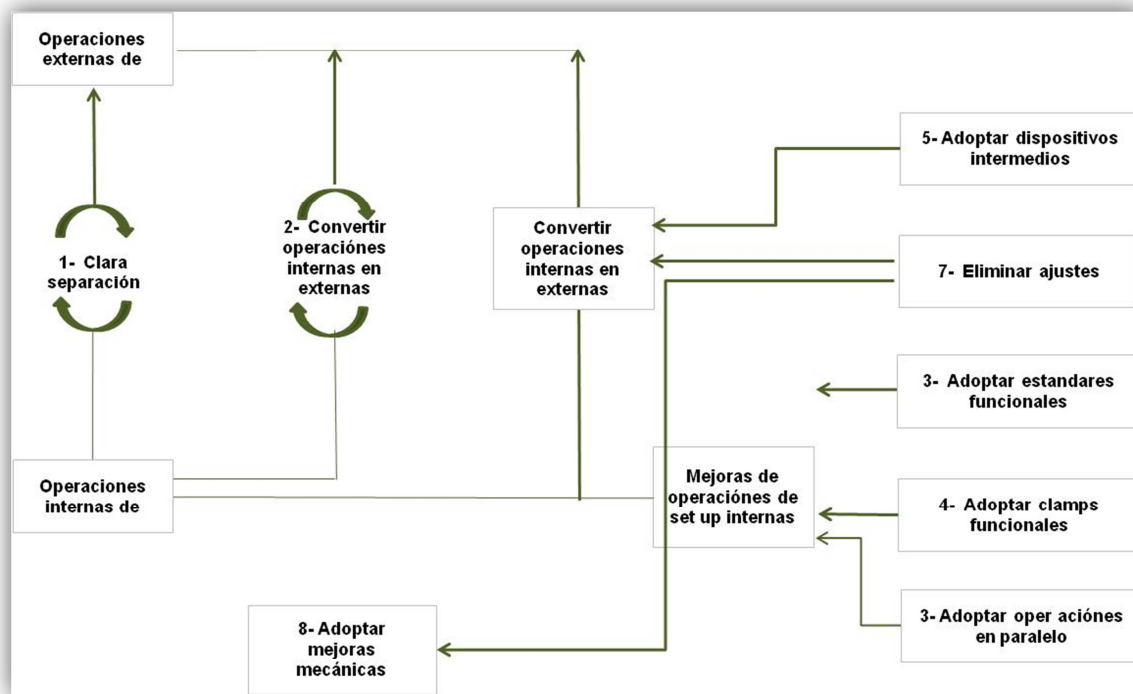


Gráfico 3.8: Flujograma para aplicar las 8 técnicas de SMED.

Traducción realizada por el autor en base a la gráfica expuesta por Shingeo Shingo "A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint", 1989, p54.



11. Actividades para la optimización de las operaciones en el cambio de serie

Actividades para la optimización de las operaciones externas:

Algunas tareas que pueden ser realizadas para mejorar las operaciones externas en el cambio de serie:

1. Simplificar operaciones de armado y desarme del puesto.
2. Revisar la disposición de la materia prima en el almacén, calibres de control así como la localización final de los Racks de producto terminado.
3. Mejorar el transporte de partes, dispositivos y herramientas.
4. Eliminar o reducir los desplazamientos y esperas.
5. Eliminar las demoras por búsquedas, estableciendo pautas de orden y limpieza para las herramientas y todo elemento necesario para el cambio.

Actividades para la optimización de las operaciones internas:

Algunas tareas que pueden ser realizadas para mejorar las operaciones internas en el cambio de serie:

1. Implementación de operaciones en paralelo.
2. Anclajes funcionales.
3. Dispositivos que faciliten el centrado de la herramienta en la máquina.
4. Reducción o eliminación del tiempo de ajustes.
5. Modificaciones en el diseño del herramental o adaptaciones mecánicas en la máquina.

Es muy importante analizar la carga de trabajo de las personas que participan en el cambio de serie. En muchos casos, el cambio de serie lo realiza un operador, pero el tiempo de operación interna puede ser reducido al menos en la mitad del tiempo si se balancea la misma carga entre dos trabajadores.

En el caso de que en un cambio intervenga más de una persona, la distribución de tareas puede ser crucial para ahorrar tiempo. La idea es repartir equitativamente la carga de trabajo entre todos los operarios que intervienen en el cambio.

Una vez que ya se han repartido las tareas entre las personas, es el momento de empezar a pensar en ideas que ayuden a reducir tiempo.

Finalmente es necesario estandarizar el método mediante, crear un procedimiento para la correcta aplicación y extender este procedimiento a todos los actores para poder conseguir el éxito de su implementación y la mejora continua.

Una vez estandarizado el método es conveniente hacer un seguimiento del desempeño registrando algunos datos relevantes como tiempo de cambio de serie total y otros tiempos parciales como tiempo de cambio de herramental, tiempo de armado de puesto de trabajo, o aquellos tiempos parciales que sean relevantes.

Con los resultados del seguimiento es conveniente repetir todo este procedimiento partiendo de la situación mejorada, de modo de reducir de nuevo en cambio de serie, instalando la mejora continua a través de la revisión y análisis del proceso.



Cada vez que se aplica el método se encuentran nuevos desafíos lo que permite implementar nuevas y mejores soluciones.

12. Optimización de operaciones en el cambio de serie para caso de estudio.

A continuación se exponen algunos ejemplos de las posibles mejoras que pueden incorporarse al cambio de serie para productos conformados en matrices de moldeo que son colocadas en prensas.

12.1 Optimización de operaciones externas.

Localización de las herramientas para realizar el cambio de molde:

El orden de las herramientas de trabajo permite eliminar cualquier demora en la búsqueda de herramientas al momento de tener que localizarlas para realizar el cambio de producto. El objetivo de las 5 S es que cada cosa tenga un lugar y que cada cosa este en su lugar.

Se sugiere un tablero de herramientas en donde las figuras de cada una de las herramientas se encuentren graficadas, de manera que si falta una herramienta esto sea fácilmente identificable. Esto define un lugar para cada herramienta y permite determinar de forma simple si hay alguna herramienta en un lugar que no corresponde o si hay herramientas faltantes.



Fotografía 3.4: Tablero de herramientas que permite una rápida localización de las herramientas.



Localización de las matrices de moldeo:

Una adecuada identificación de los herramientas y un sistema de localización estandarizada en los almacenes, reducen desplazamientos innecesarios y demoras que impactan directamente en incrementar la duración del cambio de producto.

Se sugiere establecer un estándar de localización en los almacenes de manera de simplificar la operación de retiro y almacenamiento de los herramientas. Se puede optar por diferentes criterios: Las matrices pueden estar localizadas por tecnologías, clientes, frecuencia de uso, etc. Esto permitirá que la localización de las herramientas en los almacenes sea más sencilla y lleve menos tiempo.

También se debe considerar establecer un estándar para la identificación de las herramientas, podría colocarse en todas las matrices en una posición definida una etiqueta de aluminio que incluya el código de la parte que fabrican, el número de la fila de la estantería donde debe colocarse, entre otros.

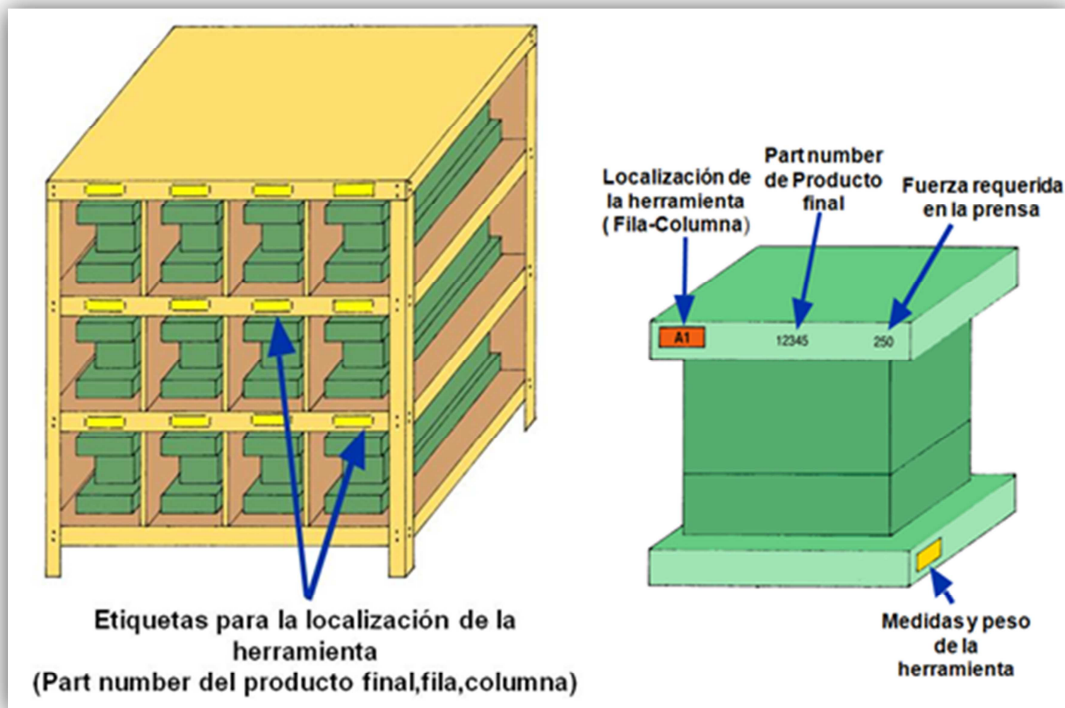


Figura 3.3: Esquema mostrando la localización de los herramientas y las etiquetas a colocar en el herramental.

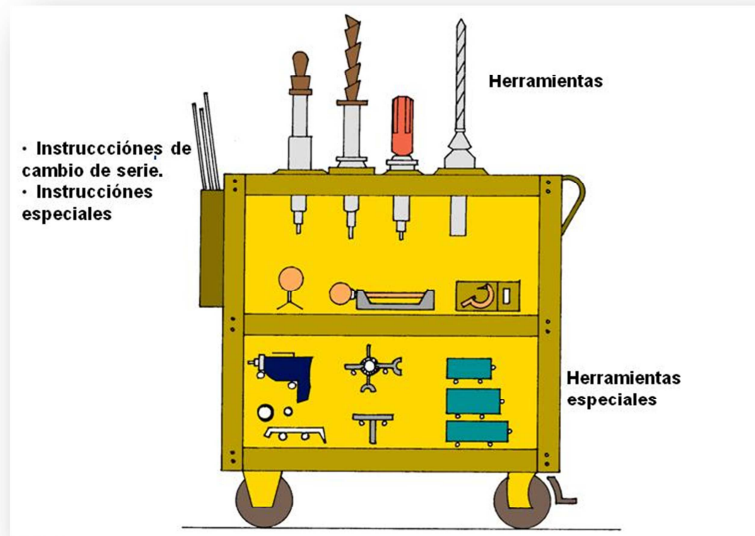


Figura 3.5: Esquema mostrando la localización de las herramientas e instrucciones en un carro móvil.

Es indispensable un lugar para cada cosa y que cada cosa este en su lugar según la filosofía de las 5 S.

Contar con un lugar determinado para cada matriz así como para cada herramienta que se utilizará en el cambio de serie, evitara desplazamiento inútiles y pérdida de tiempo en búsquedas.

Mejoras en el transporte de matrices y herramientas:

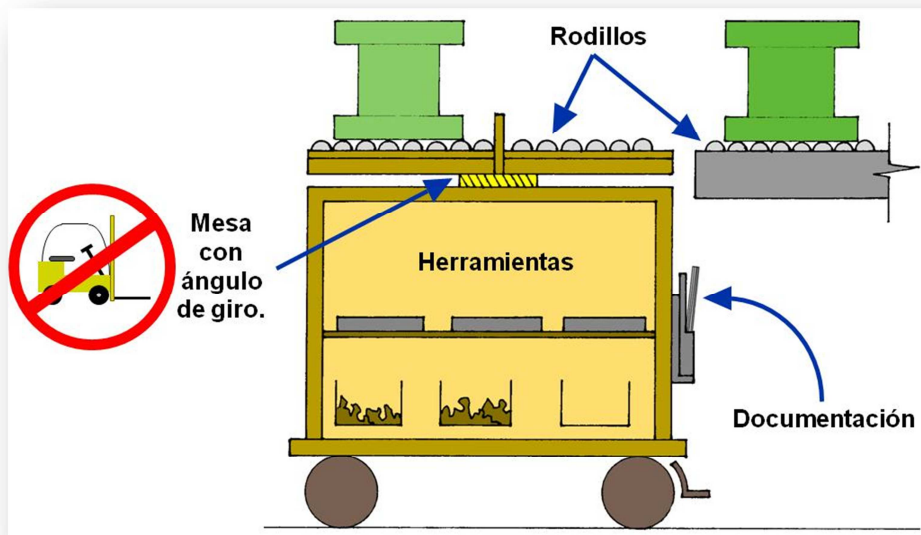


Figura 3.5: Esquema mostrando un carro móvil para el traslado de herramientas y herramientas necesarias para el cambio de serie.



Figura 3.6: Esquema mostrando una mesa con rodamientos para permitir el desplazamiento y movimiento del herramental.

Para mejorar el transporte del herramental y de las herramientas se puede construir mesas y carros móviles con el fin de facilitar el movimiento y disminuir el tiempo de espera, eliminando la necesidad de autoelevadores. Con estos dispositivos, el mismo operario puede trasladar las matrices y el herramental.

12.2 Optimización de operaciones internas.

Mejoras en el movimiento de la herramienta:

El esquema que se muestra a continuación pretende poner en evidencia la forma de hacer un cambio de herramienta más eficiente.

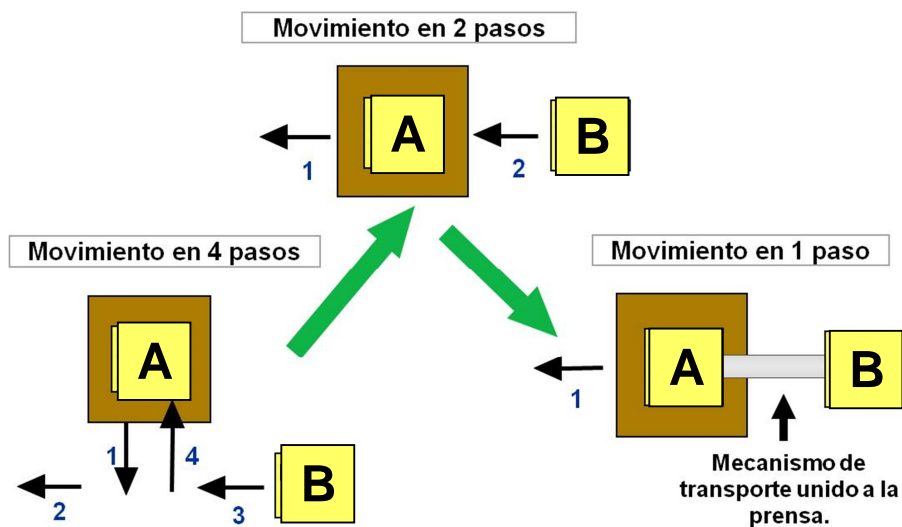


Figura 3.7: Esquema mostrando las posibles mejoras para el movimiento de una matriz.

**En un inicio el cambio de herramienta se realiza en 4 pasos:**

- Se retira la matriz del producto “A” de la prensa.
- Se retira la matriz A del puesto de trabajo.
Existe un desplazamiento, seguramente desde el puesto de trabajo hacia el almacén de herramientas.
- Se traslada la matriz del producto nuevo al puesto de trabajo.
Existe un desplazamiento, seguramente desde el almacén de herramientas hacia el puesto de trabajo.
- Se coloca la matriz del producto “B” en la prensa.

Cambio de herramienta mejorado en 2 pasos:

- Se retira la matriz del producto “A” de la prensa y se la coloca próxima al puesto de trabajo para evitar un desplazamiento considerable.
- Se coloca la matriz del producto “B” en la prensa, el molde se encuentra cerca de la prensa, no es necesario el desplazamiento hacia el almacén.

Cambio de herramienta mejorado en 1 pasos:

- Se retira la matriz del producto “A” de la prensa y se la coloca próxima al puesto de trabajo para evitar el desplazamiento considerable. La matriz del producto “B” ingresa a la prensa por medio de un mecanismo de transporte unido a la prensa.

A continuación se muestran ejemplos del cambio de herramental en un paso.

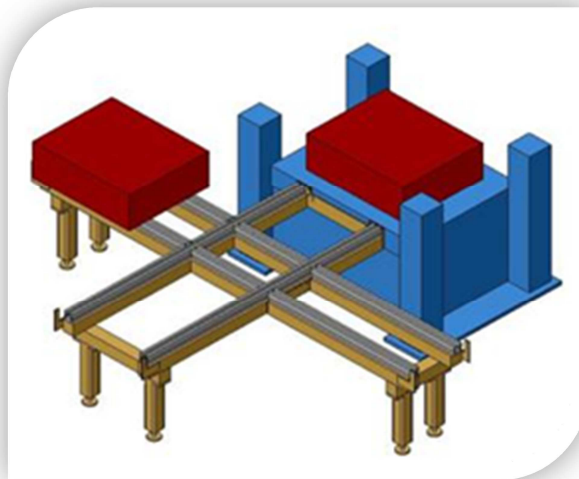


Figura 3.8: Esquema mostrando el movimiento de dos matrices en un paso.



Figura 3.9: Fotografía del movimiento de una matriz en un paso.
Fuente: Planta de Autoneum en Canadá. (Abril, 2013).

Estandarización de la altura de la herramienta:

Los esquemas muestran la estandarización de la altura del herramental y la altura de anclaje. El objetivo es fijar los moldes por medio de una interfaz común.

- Estandarizar la altura de las matrices elimina el ajuste de carrera de los cilindros de las prensas.
- Estandarizar la altura de anclaje elimina la necesidad cambiar los bulones de ajuste.

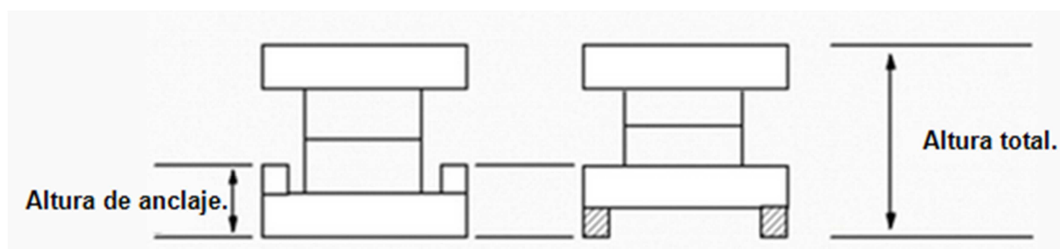


Figura 3.10: Esquemas de la estandarización de la altura del herramental y altura de anclaje.

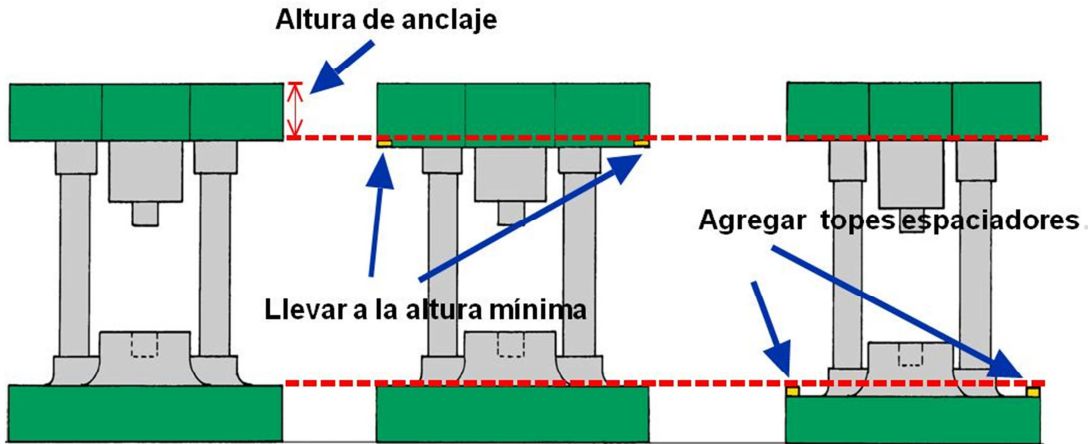


Figura 3.11: Esquemas de la estandarización de la altura del herramental y altura de anclaje.

Mejoras para el centrado de la herramienta:

A continuación se muestran dos sistemas que facilitan el centrado de la herramienta.

Por un lado se sugiere el sistema “cassete” que consiste mecanizar una mueca en la máquina en donde se va a ubicar la herramienta, lo que está indicado en el esquema como “porta base”. Toda herramienta que se monte en esta máquina deberían tener una base de altura estandarizada que coincida con la altura de la mueca mecanizada en la máquina. De esta forma el centrado de la herramienta en la máquina es prácticamente inmediato.

Otro sistema consiste en agregar una especie de tope en la base de la máquina en donde se localiza la herramienta. Toda herramienta que se monte en esta máquina debe tener una mueca con la misma forma para el calce inmediato.

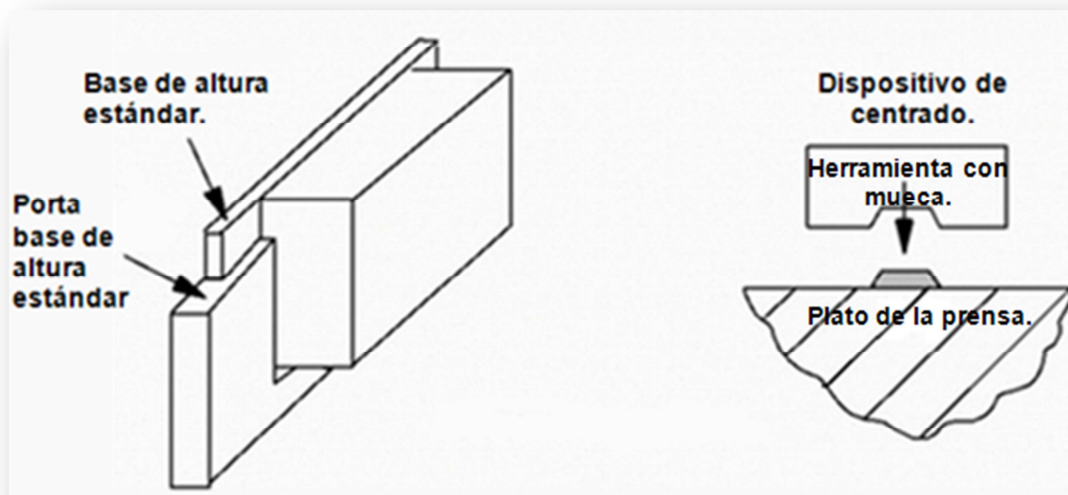


Figura 3.12: Esquemas de 2 sistemas que facilitan el centrado de una matriz.

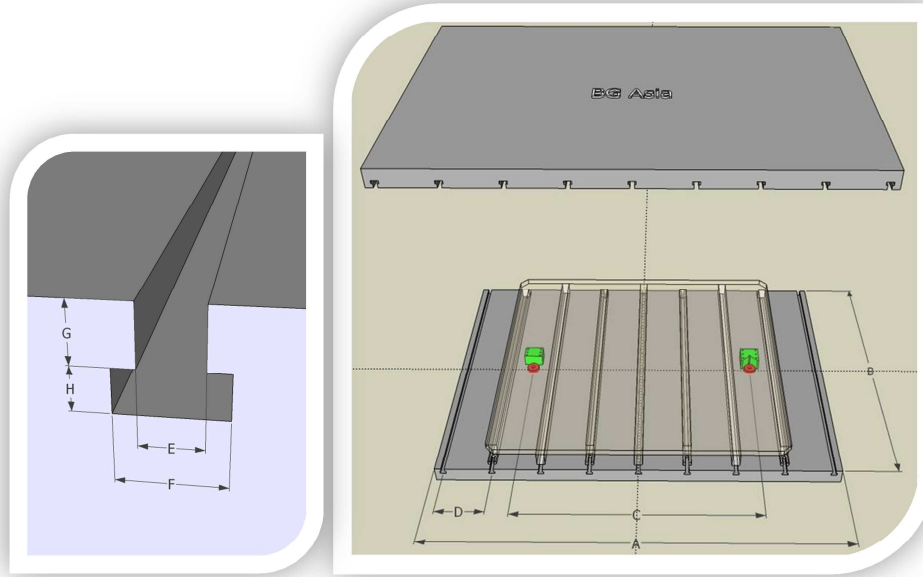


Figura 3.13: Esquema de un plato estandarizado para una prensa y topes en prensa y herramienta para facilitar el centrado de una matriz.

Prever en la compra de la prensa un formato estandar de las ranuras del plato permitirá que cualquier molde con anclaje estandarizado de la misma forma pueda montarse en cualquier prensa.

Para facilitar el posicionamiento de la matriz en el plato de la prensa, se recomienda prever la colocación de topes en el molde y contratopos en el plato, de esta manera se reduce notablemente el tiempo de centrado del herramental.

Mejoras para el anclaje de la herramienta

La primera intención respecto al anclaje de la herramienta en el plato de la prensa, es eliminar la necesidad de ajuste. Se muestran diferentes tipos de sistemas de anclaje que eliminan el tiempo improductivo de ajuste, estos dispositivos no requieren una herramienta. El ajuste se logra por medio de rosca manual o bien de un solo golpe o movimiento.

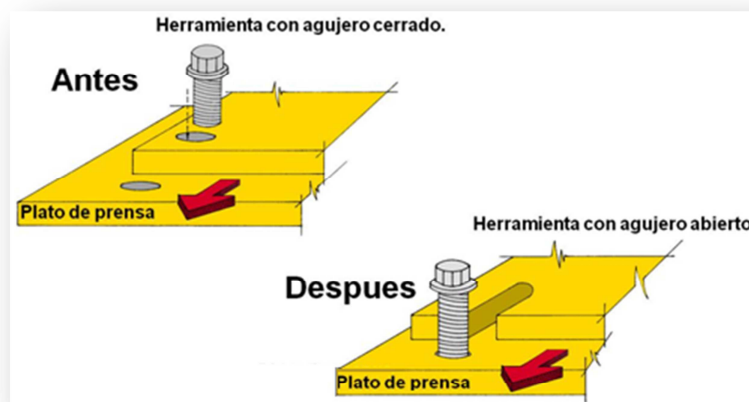


Figura 3.14: Esquemas del anclaje de una matriz al plato de la prensa.

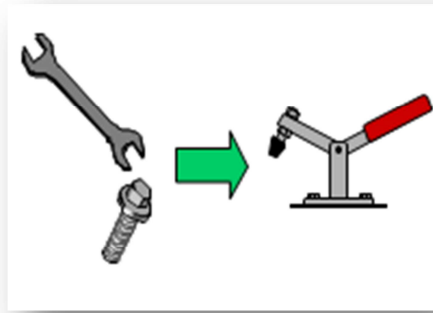


Figura 3.15: Esquemas mostrando la ventaja de un clamp de ajuste rápido.

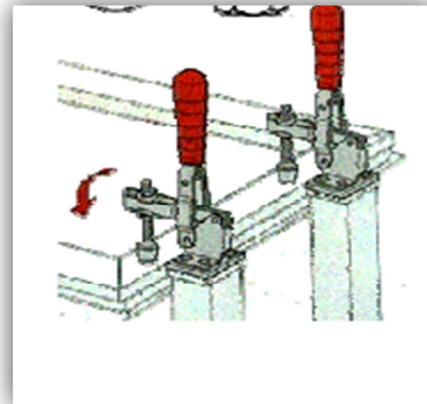
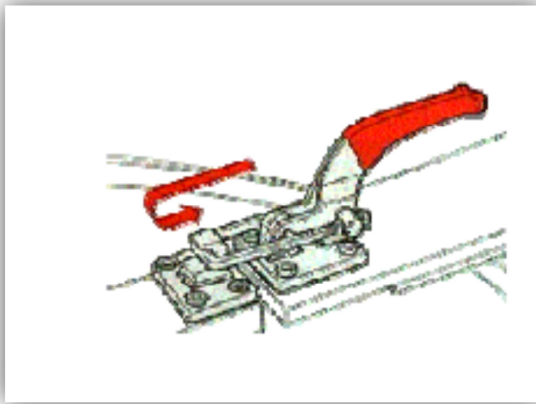


Figura 3.16: Esquemas de 2 sistemas de clamps de ajuste rápido o de un toque.



Figura 3.17: Fotografía de clamps de ajuste rápido.
Fuente: Planta Autoneum en Turquía (Junio, 2013)

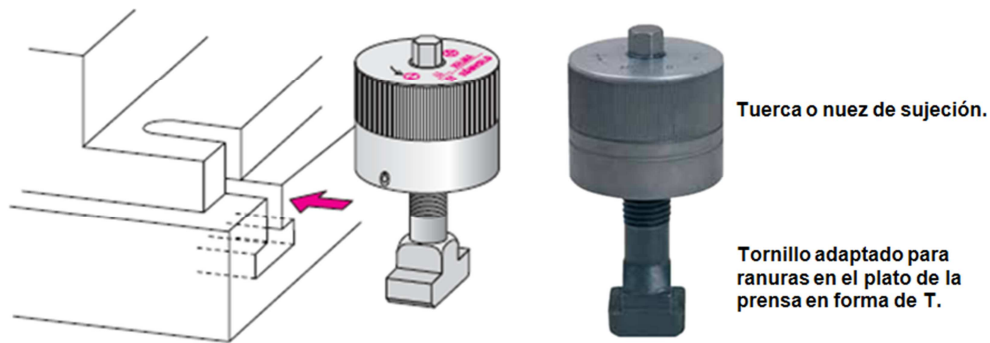


Figura 3.18: Esquemas mostrando la aplicación de un clamp "Nuez de ajuste"

Mejoras para el desacople de la herramienta a la prensa:

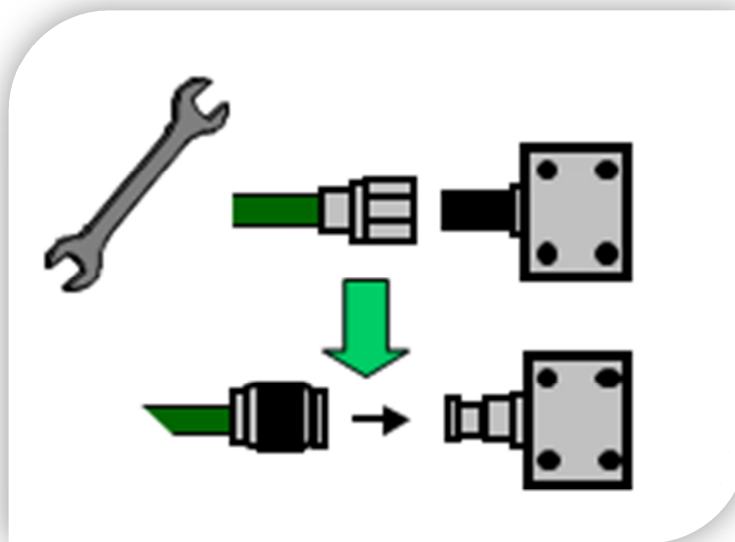


Figura 3.20: Fotografía mostrando la ventaja de reemplazar un acople colocado con una llave de tubo frente a un acople rápido.

Para refrigerar la matriz o bien para realizar el calentamiento de la misma es necesario conectarles mangueras por medio de acoples que generalmente son de ajuste manual. El esquema propone reemplazar estos acoples de ajuste manual por acoples rápidos que eliminan la necesidad del ajuste manual del operario.



Para resumir este apartado a continuación se expone una tabla con las diferentes fases de la metodología SMED con las actividades y herramientas necesarias para lograr el objetivo de cada fase.

Fases del SMED	Herramientas
Fase 0 : Análisis preliminar	<ul style="list-style-type: none"> Filmar el cambio de serie Registrar todo detalle relevante. Cronometrar el cambio. Elaborar Cursograma analítico. Entrevistar a los principales actores.
Fase 1: Separar operaciones internas y externas.	<ul style="list-style-type: none"> Utilizar de listas de chequeo Estudiar de los movimientos y operaciones de los operadores. Estudiar el transporte de herramientas y herramientas.
Fase 2: Convertir operaciones internas en externas.	<ul style="list-style-type: none"> Preparar el puesto de trabajo previo al cambio. Chequear que el Funcionamiento estandarizado. Utilizar dispositivos intermedios. Mejorar almacenamiento y transporte de herramientas y herramientas. Adoptar operaciones en paralelo
Fase 3: Optimizar operaciones internas y externas.	<ul style="list-style-type: none"> Establecer procedimientos estandarizados de trabajo. Mejorar el centrado de las herramientas. Mejorar el anclaje del herramental Mejorar o bien eliminar el ajuste del herramental.

Tabla 3.1: Fases del método SMED y las actividades o herramientas para el éxito de cada fase.

13. Concepto de lote económico bajo la metodología SMED

La meta de casi todos los modelos de inventario es minimizar los costes totales. Se consideran como los costos significativos el de preparar la orden (o de ordenar) y el de mantener el inventario(o de manejarlo). Los demás costos se consideran constantes, como el costo del inventario en sí. En consecuencia, si se minimiza la suma de los costos de ordenar y mantener, minimizaremos el costo total.

Para visualizar este concepto en la siguiente figura se grafican los costos totales como función de la cantidad de la orden o el tamaño de lote.

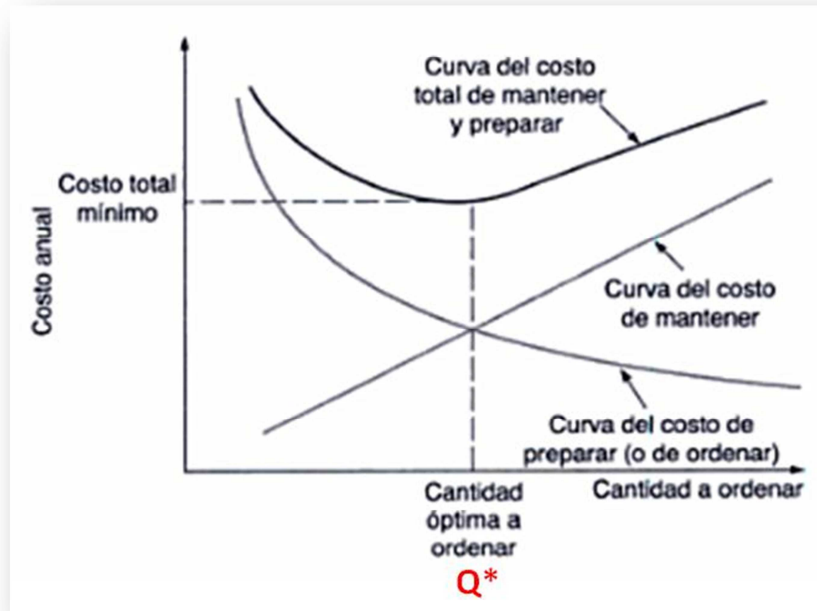


Figura 3.21: Costos totales como función del tamaño del Lote.
Fuente: "Principio de administración de operaciones, Barry Render, 2004, p458.

El tamaño de lote óptimo Q^* , es la cantidad que minimiza el costo total.

Conforme aumenta la cantidad ordenada, disminuye el número total de órdenes colocadas por año. Así, si la cantidad ordenada crece, el costo anual de ordenar o preparar decrece. Pero si aumenta la cantidad ordenada, el costo de mantener, también aumenta, ya que se mantiene un inventario promedio mayor.

Como se observa en la figura 3.21, al reducir los costos de preparación o bien de mantener, la curva del costo total se reduce. Una reducción en la curva del costo de preparar también reduce la cantidad óptima de la orden (tamaño de lote). Además, los lotes de menor tamaño tienen un impacto positivo en la calidad y la flexibilidad de la producción. (Render Barry, 2004)

Fórmula para calcular el lote óptimo de producción:

Donde:

- D: Demanda anual en unidades del artículo en inventario.
- S: Costo de ordenar o de preparación para cada orden.
- H: Costo de mantener o manejar inventario por unidad por año.
- Q^* : Número óptimo de piezas a ordenar o Tamaño de lote óptimo.

$$LEP = EQP = Q^* = \sqrt{\frac{2 * D * S}{H}}$$

Fuente: "Principio de administración de operaciones, Barry Render, 2004, p459.



Análisis del Costo de Orden de Producción (S)

El costo de orden de producción se compone, por una parte, del costo administrativo por generar y procesar una orden de producción (costo relativamente pequeño) y por otro, el costo de hacer el cambio de producto para el proceso. Este costo suele ser bastante mayor, ya que involucra al personal que hace el cambio de serie más el tiempo que la máquina permanece ociosa.

$$S = C_{admin} + C_{cs}$$

Análisis del Costo de Mantenimiento de Inventario (H)

El costo de Mantenimiento de Inventario está dado por el costo unitario del producto en inventario y la tasa del costo de tenencia.

$$H = C_U * i$$

Efecto del SMED sobre el tamaño de Lote de producción.

A través de la mejora y disminución de tiempo y costos con SMED, se altera la curva de costos de *orden – cambio de serie*, modificando el costo total y reduciendo el LEP y por lo tanto el tamaño del material en inventario, ya sea en flujo o en stock. Este es un paso fundamental hacia la flexibilidad dentro del sistema productivo.

Está claro que el SMED no tiene la capacidad de contribuir o influenciar en todos los aspectos que afectan a la flexibilidad del sistema de manufactura. Se debe evaluar también la flexibilidad del sistema de manufactura como un componente de la flexibilidad del sistema negocio - mercado bajo una visión completa.

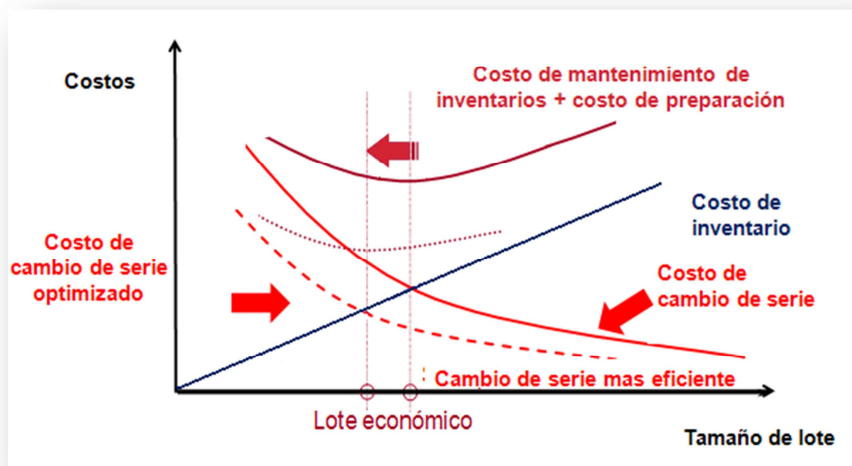


Gráfico 3.10: Impacto de mejora en la performance del cambio de serie en el LE.
Fuente: *Improving Changeover Performance*. R.I. McIntosh et.al. (2001)



14. Ventajas de la implementación del SMED.

1. Reducción del tiempo de inactividad de los equipos.

Se incrementa la capacidad del equipo, permitiendo manufacturar más productos al incrementarse el tiempo disponible para la producción.

Mayor capacidad de producción.

Para un determinado período es posible incrementar la disponibilidad realizando el cambio de serie de forma más eficiente serie sin alterar la frecuencia.

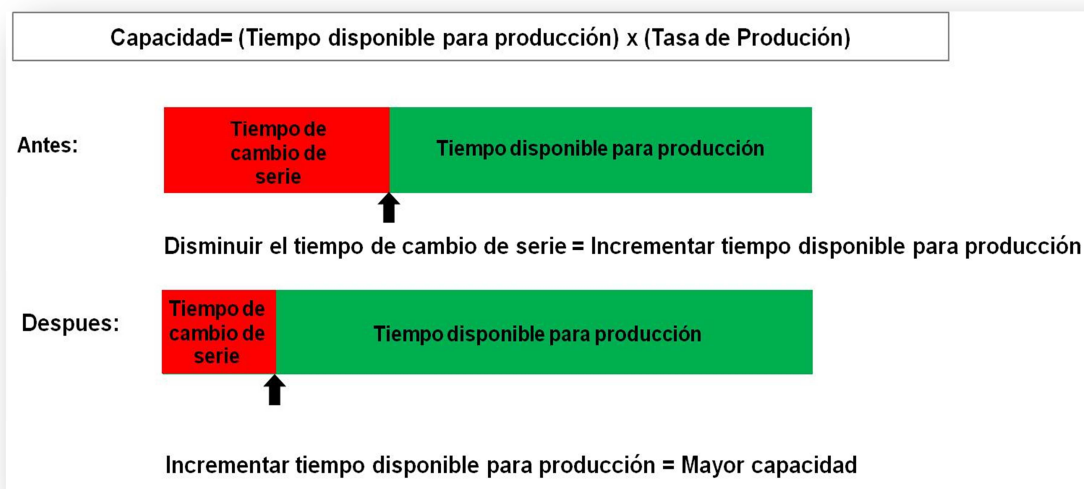


Figura 3.21: Incremento de disponibilidad de los equipos tras reducir el tiempo de cambio de serie

Incremento del OEE.

En el artículo “Reducción de tiempos de fabricación con el sistema SMED”, Inmaculada del Vigo García, José Villanueva Castrillón(2009) afirman:

El O.E.E. (*Overall Equipment Effectiveness* o Eficiencia Global de los Equipos) es un parámetro de medida universal de eficiencia de los equipos que hace visible todas las actividades que no añaden valor.

El O.E.E. se define como el cociente entre la producción realizada en un periodo de tiempo y la producción máxima realizable en el mismo periodo de tiempo: sin averías, sin paros, sin tiempos de cambio, a velocidad teórica máxima, sin fallos de calidad.

$$OEE = \frac{\text{Producción realizada en un período de tiempo}}{\text{Producción máxima realizable en el mismo período de tiempo}}$$

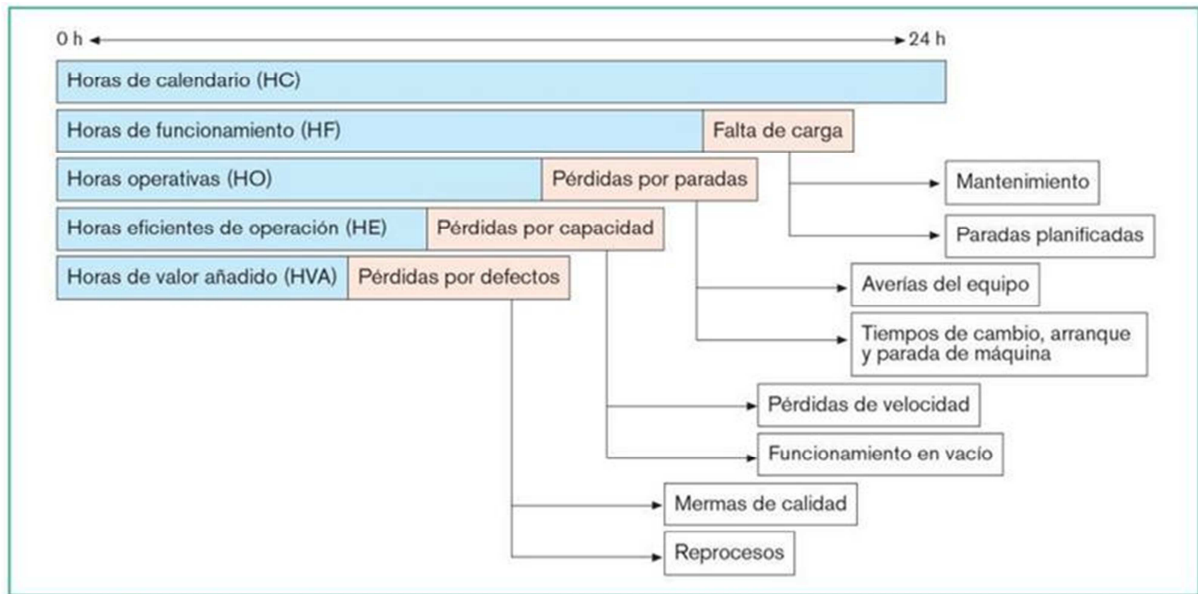


Figura 3.22: Componentes del OEE.

Fuente: <http://www.tecnicaindustrial.es.>, José Villanueva Castrillón, 2009.

El SMED permite aumentar la tasa de utilización de las máquinas al eliminar operaciones que no agregan valor a la producción, y por tanto, su O.E.E. pues se reducen drásticamente los tiempos que la máquina está parada, siempre y cuando el número de cambios se mantenga.

2. Reducción del inventario

Surge de la capacidad de manufacturar diferentes productos con mayor frecuencia en lotes de menor tamaño.

Menor inventario de producto terminado.

El costo debido al nivel de inventario directo y el costo de la estructura para su mantención y almacenamiento suele ser bastante alto. Si la demanda del cliente supera la capacidad de manufactura en el corto plazo sí debería ser apropiado contar con un stock determinado.

Aun así, es necesario el correcto dimensionamiento para no producir en exceso y que el stock deba permanecer en almacén.

Menor inventario de producto en proceso.

El inventario de producto en proceso debe también ser reducido al mínimo posible, salvo donde se considere que el uso de trabajo en proceso mejore el desempeño de la producción.



3. Incrementa la disponibilidad de recursos.

El operador se vuelve más productivo.

Al mejorar el procedimiento del cambio de serie; El operador realiza menos actividades sin valor agregado y puede concentrarse en el trabajo que aporta valor añadido,

Permite concentrar la producción en menos máquinas.

El incremento de capacidad en las máquinas, tras la reducción del tiempo inactivo en el cambio de serie, permite concentrar la producción, es decir, distribuir la carga de producción existente en menos máquinas.

Incrementa el espacio disponible.

El equipamiento de manufactura y el inventario requieren de espacio. La mejora del desempeño en el cambio de serie y la reducción de inventario permiten liberar espacio permitiendo una mejor distribución de la maquinaria, mejorar el control de las operaciones o bien utilizar el espacio para otros fines.

4. Mejora la flexibilidad de la empresa

Se consigue gracias al incremento de tiempo disponible para producción y debido a la reducción del tiempo inactivo de la máquina, lo que permite la producción en pequeños de un determinado producto en cualquier momento. Por consiguiente la mejora en la flexibilidad puede ser usada para mejorar el nivel de servicio al cliente.

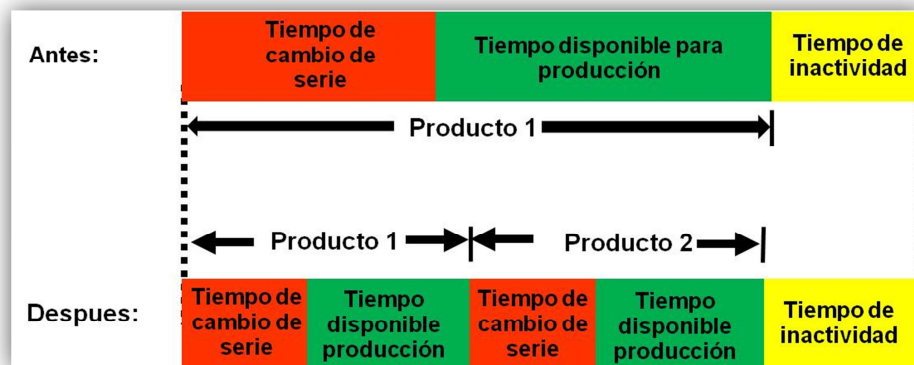


Figura 3.23: Incremento de la flexibilidad de la organización gracias al SMED.

Mejora la respuesta a las necesidades del mercado.

Los cambios de serie rápidos son capaces de proveer al cliente una reducción de los plazos de entrega y entregas en cantidades más precisas, incluso mejorando las necesidades de inventario del propio cliente.



Mejora la respuesta a los problemas de manufactura.

La producción en pequeños lotes permite manejar niveles de inventarios más bajos lo permite que cualquier problema que ocurra en el proceso productivo sea rápidamente identificados y posteriormente solucionado.

Mejora el potencial de proveer a “nichos” del mercado.

Según Macintosh un sistema de manufactura en pequeños lotes sensible a los pedidos del cliente podría permitir a la empresa considerar trabajos que antes se veía económicamente obligada a rechazar. La no implementación de un programa de cambio rápido lleva a las empresas a trabajar con grandes lotes de producción porque necesita absorber los costos de perder los ahorros potenciales que podrían haber beneficiado a la compañía y a los clientes. Si se reducen los tiempos de cambio de serie, se puede incrementar la competitividad y lograr captar esos trabajos. (2001)

Incrementa el potencial de tomar negocios de alto margen de beneficio.

Según Macintosh debido a que muchos clientes no logran localizar sus pedidos cuando estos son pequeños y requieren de un corto lead time de entrega, la producción en lotes pequeños permite alcanzar negocios de mayor margen, ya que el cliente está dispuesto a pagar cierto precio extra por este tipo de servicio. Si se logra reducir el tiempo, costos y recursos asociados con el cambio de serie, es posible transferir este ahorro de costos al cliente haciendo más competitivo el proceso productivo. (2001)

5. Mejora el control de los procesos.

Incremento de la confiabilidad del proceso.

Se simplifica el proceso de manufactura y hace los trabajos de manufactura más fáciles y más complacientes para los empleados. Empleados satisfechos con sus tareas puede llevar a una tasa de rotación de puestos mucho menor.

Reducción de la probabilidad de daño del equipo.

Esto puede devenir como resultado de la mejor integración con el mantenimiento preventivo y de la disminución de ajustes mecánicos durante el proceso.

Calidad del producto mejorada.

Un cambio de producto más rápido y un procedimiento estándar de cambio de serie pueden mejorar la calidad de los productos.

La metodología estandarizada permite que se reduzca la probabilidad de que se cometan errores y facilita el seguimiento y control de la metodología de cambio de producto.

**Reducción de las tasas de scrap.**

Durante puesta en marcha luego del setup, si se consigue mejorar la calidad de los ajustes o bien eliminarlo, se reduce el scrap ya que se produce un arranque más vertical hacia la calidad del producto requerida, con menos cantidad de reajustes y por tanto menos piezas perdidas por pruebas hasta alcanzar la estabilización del proceso productivo.

Mejora de la seguridad.

El análisis realizado para el estudio del cambio de serie permite encontrar aquellas posibles amenazas para el operario que se pueden suceder durante el cambio de serie, tales como ergonomía y aspectos inseguros de la dinámica del cambio de serie.