

PARTE 1. ESTADO DEL ARTE

1. Sistema de Producción Toyota o Manufactura Flexible. El SMED como componente.

El objetivo de este capítulo es realizar una explicación de la aparición del método SMED (Single Minute Exchange of Die) como parte de una revolución en la gestión de los sistemas productivos a mediados del siglo XX en el Japón, a efectos de superar los efectos devastadores de la 2º GM sobre las industrias y los recursos productivos del citado país.

Taiichi Ohno define la metodología de producción de Toyota como un sistema de producción cuya base es la absoluta eliminación del desperdicio. Los dos pilares necesarios para sustentar este sistema son: Just In Time (JIT) y automatización, o automatización con un toque humano” (Ohno, 1978,1988, p.4) En la década de 1990, investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT; Instituto Tecnológico de Massachusetts) llamaron al método Toyota como “Lean Manufacturing” – traducido aproximadamente como “Manufactura Esbelta (ME) o Magra” por su concentración en la eliminación de desperdicios y costos.

La expresión japonesa para designar el concepto de desperdicio es Muda. Pero esta noción viene acompañada de otros dos, que podrían explicar la aparición del desperdicio en un proceso. Se trata de:

- Mura, que hace referencia a la variabilidad que acompaña la realización de una actividad (por falta de estandarización, formación, disciplina, constancia en la disposición de medios y recursos, etc.), que da lugar a diferencias en los tiempos de proceso, productividad, nivel de defectos y tiempos de entrega.
- Muri, que hace referencia a las prácticas injustificadas y con frecuencia, no tienen otra razón que el haberse efectuado así “desde siempre”. La estandarización y el mantenimiento de dicha estandarización, son el antídoto para el Muri.

Reafirman el origen, Womack y Jones (2003), que señalan que Manufactura Magra (MM) se refiere a los enfoques desarrollados en un principio por Toyota Motor Corporation, que se concentran en la eliminación del desperdicio en todas sus formas, incluidos los defectos que requieren del reproceso, los pasos innecesarios en los procesos, el movimiento innecesario de materiales o personas, el tiempo de espera, el inventario en exceso y la sobreproducción. Una forma sencilla de definirla es: “hacer más con menos”. Comprende la identificación y eliminación de actividades que no agregan valor al producto o proceso a través de la cadena productiva, buscando con ello una respuesta más rápida para el cliente, inventarios reducidos, mejor calidad y mejores recursos humanos.

El sistema de Manufactura Flexible o Manufactura Magra ha sido definido como una filosofía de excelencia de manufactura, basada en la eliminación planeada de todo tipo de desperdicio, el respeto por el trabajador y la mejora consistente en productividad y calidad (Womack & Jones 2003). Asimismo, esta filosofía se



ha catalogado como una característica de las empresas de clase mundial (Schomberger, 1989).

También Holweg (Holweg, 2007) se refiere a producción magra como una evolución de otra filosofía, el Sistema de Producción Toyota (SPT), también conocido como Just In Time. El autor afirma que Lean Production se basa en el SPT, al que se le añadieron otros conceptos y herramientas de gestión, que se originó después de que el SPT.

La Manufactura del SPT es una estrategia operacional orientada a lograr el tiempo más corto de ejecución eliminando desperdicios. Esta técnica reduce a menudo el tiempo entre la orden del cliente y su entrega, además puede mejorar radicalmente la productividad, satisfacción del cliente, tiempo de respuesta y la moral del empleado.

Ohno (El sistema de producción Toyota, Ohno T., 1988) sostiene que el principal objetivo del Sistema de Producción Toyota es reducir la producción de desperdicios. Estos desperdicios se presentan en diferentes formas, tales como: stock de materias primas, tiempo muerto del equipo, control de inventario, el espacio ocupado por los inventarios, fabricar sin calidad, entre otros. Bajo esta filosofía, estos desperdicios o costos no observados del proceso son perjudiciales para la empresa, así como para el cliente, por lo que era necesario para reducir los mismos tanto como sea posible.

El principio básico de la producción esbelta es aumentar la competitividad de las empresas mediante la reducción de costos.

Esta filosofía busca acercarse lo más posible al óptimo, es decir, sólo utilizar los recursos necesarios para agregar valor al producto.

El SPT clásico se basaba en dos principios: (1) sólo se producen los productos que se venden, (2) la producción tiene lugar a modo de en un flujo continuo, que llega a la estación respectiva "Just in Time". Para el SPT y la Producción Lean los stocks son considerados como desperdicios, que se ocultan los verdaderos problemas en la línea de producción. Al reducir los stocks, los problemas de la ocupación e inmovilización del espacio inherente a las existencias se han resuelto.

De la necesidad de superar estos mismos problemas surgieron soluciones innovadoras, que todavía tiene fuertes repercusiones sobre el medio ambiente industrial. Un problema era la falta de interacción entre los empleados y el departamento de calidad de fabricación. Uno de los factores de éxito del SPT se debe a la participación de los empleados en el departamento de calidad de fabricación, creando grupos de trabajo que incluían y responsabilizaban a los trabajadores por la calidad del producto final.

Landeghem (Landeghem et al. 2007) afirma que "Lean" o "esbelto" es eliminar la producción de desperdicios (en japonés "muda"), y define los principios fundamentales para la aplicación de la Manufactura Esbelta:

1. *Definir el valor desde el punto de vista del cliente:* los clientes quieren comprar una solución, es decir la solución que brinda el uso de un producto o servicio.
2. *Identificar el flujo de valor:* entendiendo como valor la cantidad de valía en concreto, medible y tangible para el cliente, que se incorpora al valor total de un bien o servicio, que lo incrementa en su capacidad funcional (percibida por el cliente) que se sucede en las distintas etapas del



proceso productivo (hasta la concreción final de su función), de distribución y de comercialización. Una vez analizados los flujos de materiales e información que se requieren para poner a disposición del cliente un producto o servicio, e identificados los procesos de valor, se puede apreciar sus niveles de eficiencia, productividad, pertinencia y necesidad. De esta manera se identifican oportunidades de mejoramiento, simplificación o supresión de desperdicios o pasos que no agregan valor dentro de un proceso.

3. *Crear el flujo óptimo*: hacer que todo el proceso fluya suave y directamente de un paso que agregue valor a otro, desde la materia prima hasta el consumidor.
4. *Tomar la señal desde la voz del cliente*: una vez dispuesto un flujo optimizado, ser capaces de producir por órdenes de los clientes, en lugar de producir en base a pronósticos de ventas a largo plazo.
5. *Seguir mejorando continuamente*: una vez que una empresa consiga los primeros cuatro principios, se desarrollan en la cultura de aquellos que están involucrados, conceptos de la búsqueda de la mejora, la idea de que añadir eficiencia siempre es posible. Esto conduce a buscar la mejora de forma continua.

1.1. Objetivos del Sistema de Producción Toyota.

Los principales objetivos del Sistema de Producción Toyota son implantar una filosofía de mejora continua que les permita a las compañías reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción de los clientes y mantener el margen de utilidad.

El SPT proporciona a las compañías herramientas para sobrevivir en un mercado global que exige calidad más alta, entrega más rápida a más bajo precio y en cantidad requerida. Según Martil (2006), los beneficios principales al adoptar la filosofía e implantar las herramientas, son:

- Reducir la cadena de desperdicios drásticamente.
- Reducir el inventario y el espacio en el piso de producción.
- Crear sistemas de producción más robustos.
- Crear sistemas de entrega de materiales apropiados.
- Mejorar las distribuciones de planta para aumentar la flexibilidad/beneficios.

Como se mencionó anteriormente, el concepto de MM se originó y desarrolló en el sector de la industria automotriz japonesa. Sin embargo, muchas publicaciones están disponibles que documentan y describen las ventajas de este método para todos los sectores industriales.

Sin embargo, hay sectores en los que este método no se ha aplicado aún.

El concepto de Lean Manufacturing, debería ser comprendido y utilizado en todas las industrias, independientemente de su sector de actividad (Moore et al. 1997).

Hay estudios que indican que las ideas y procedimientos de una industria de alta tecnología, tales como la industria del automóvil, deben adaptarse a todo tipo de sectores. Así, es posible comparar las empresas en su totalidad en las diferentes áreas mediante los indicadores, llevando a aquellos que son



responsables por la gestión a que logren aplicar la filosofía del Lean Manufacturing.

Es sobre estas bases que Bamber (Bamber et al. 2000) presenta un estudio que sostiene que antes de aplicar este sistema, es necesario considerar qué herramientas se incluyen en el concepto de Lean Production y que se deben usar en cada sector en particular de modo adaptativo.

De acuerdo con este estudio hay una diferencia importante y fundamental entre el encuentro de mecanizado de producción de la industria automotriz, que creó el método y las otras industrias.

Según los autores, existen muchas industrias que no enfrentan un riesgo tan importante en función de la variabilidad del stock, por lo que el impacto de las diferentes técnicas del Sistema de Producción Toyota no es el mismo que el obtenido en la industria del automóvil.

Siguiendo esta línea de razonamiento Abdelmalek (Abdelmalek et al. 2007) se refiere a que la enseñanza de las distintas herramientas del SPT a aplicar es esencial. Según este artículo, la aplicación de Lean Production y sus técnicas no son dependientes del sector en que las industrias se encuentren, pero si aclara que hay varias herramientas del método, que son incompatibles con algunos sectores.

Este autor presenta un estudio en una fábrica de acero, y los resultados de su aplicación exitosa. En el cuadro 1 se puede observar las técnicas que los autores consideran el nivel de aplicación en el sector siderúrgico.

Herramientas de la ME y su grado de aplicación en la industria siderúrgica	
Herramientas del SPT	Aplicabilidad
Producción por células	Aplicación improbable
SMED	Aplicación parcial
5 S's	Aplicación universal
JIT	Aplicación parcial
TPM	Aplicación parcial
Sistemas visuales	Aplicación universal
Nivelamiento de producción	Aplicación parcial

Cuadro 1 – Ejemplo de aplicación de herramientas del SPT en la industria siderúrgica.

También según los autores, el mayor problema en la aplicación de Lean Production en muchos sectores es la falta de información, y no la voluntad de encontrar estudios de casos de éxito en diversos sectores.

Un área que requiere un estudio previo de las herramientas para aplicar en la aplicación del método son las pequeñas y medianas empresas (PYME).

La contribución de las PYMEs en la economía regional y nacional no debe pasarse por alto (Boughton y Arokian, 2000). El desarrollo continuo de la MM y una gestión de la cadena de suministro eficiente, ha puesto una enorme presión sobre la comunidad de las PYME.

El autor concluye que el método sin un estudio previo, y sin la preparación de los involucrados, puede ser catastrófico, especialmente si las técnicas y conocimientos que deben aplicarse son inapropiados. Durante la aplicación de la MM en una empresa es necesario tener en cuenta su cultura



intrínseca. Scott (Scott et al. 2001) establece que cuando la MM se aplica en una organización con una fuerte cultura propia, esta mezcla puede dar lugar a malos resultados. Según el autor, cuando una empresa se encuentra en esta situación corre el riesgo de no llegar a la innovación o la creatividad en las soluciones. Estos eventos son perjudiciales para el aprendizaje y el desarrollo de cualquier empresa. Sin embargo, existen casos documentados en los que el método fue un éxito debido a una aplicación gradual y la participación de todas las personas, involucrando en el éxito a todo el personal de la compañía.

Un ejemplo del concepto de Lean Production es la importante contribución al éxito de una empresa, es el caso de estudio de la aplicación de la Manufactura Lean en el desarrollo de software. Middleton (Middleton, 2001) publicó un estudio sobre la aplicación de la filosofía de la Producción Esbelta al desarrollo de software.

Según el autor, las dos empresas estudiadas tenían necesidad de cambiar su filosofía de gestión debido a la enorme cantidad de errores que aparecieron en el código de sus productos. Estos errores estaban causando problemas en los clientes, y por lo tanto representaban altos costos para su resolución, debido a que se sobre empleaban recursos para hacer un inventario del código del producto y resolver los problemas.

Uno de los puntos clave en estos dos casos, se encontraba en saber por parte de los desarrolladores, exactamente en qué fase del proyecto se encontraban los programadores y quienes eran los programadores que estaban trabajando en el código.

En conclusión, los autores sostienen que, así como las técnicas de Lean parten como herramientas para solucionar problemas de procesos y procedimientos utilizados por la industria, también tienen el potencial de alterar el proceso de desarrollo de software.

Actualmente, la industria del software ha incorporado el método de producción Lean con algunas modificaciones.

1.2. Conceptos incorporados en Sistema de Producción Toyota.

El concepto de Lean Manufacturing tiene incorporadas varias herramientas. Sin embargo, existen herramientas en particular, que merecen una breve mención en este proyecto integrador.

1.2.1. Las Cinco Eses (5 S's)

Un método muy relacionado con Lean Production es el 5 S's. Esta metodología (según Motomu Baba, uno de sus creadores, no es una metodología sino un movimiento cultural) adoptada por el SPT, se asocia con la organización y limpieza del puesto de trabajo.

Según sus creadores, todas las medidas adoptadas por el Lean Production deben comenzar por lo menos con dos años de campaña de 5 S's en forma previa. Aunque tiene el formato de una metodología, las 5 S's proponen un movimiento orgánico cultural de la organización.

Las 5 S's son las cinco iniciales de palabras japonesas que tienen como objetivo la sistematización de las actividades de almacenamiento, organización y limpieza de los lugares de trabajo. Esta herramienta de gestión coloca a las personas en el centro de la organización, es decir, el según las 5 S's, el



bienestar de los trabajadores es esencial para el correcto desempeño de toda la organización.

Las 5 S's derivan de 5 palabras japonesas que ordenan y explican el sentido de la ejecución de este movimiento de la cultura de la organización:

- *Seiri* - Clasificar que se usa y que no. Mantener sólo lo necesario para realizar las tareas.
- *Seiton* - Poner en orden. Mantener en condiciones de fácil utilización.
- *Seiso* - Limpieza.
- *Shitsuke* - Educación moral – disciplina. Mantener y mejorar los logros obtenidos.
- *Seiketsu* - Estandarización. Cumplimiento de las normas establecidas.

Las actividades de Organización-Orden-Limpieza-Estandarización y Disciplina son esenciales y fundamentales para una correcta y óptima puesta en funcionamiento del sistema SMED.

Es claro que el poder encontrar rápidamente las herramientas, el disponer de todos los equipos y lugar de trabajo en estado de limpieza, y el disponer de elementos visuales que permitan el mejor ajuste, son beneficios que trae consigo la aplicación sistemática de las Cinco "S".

1.2.2. *Kaizen*.

Kaizen es un concepto que abarca muchas metodologías que se encuentran dentro del Sistema de Producción Toyota. Traducido literalmente, Kaizen significa mejora continua. Este concepto tiene una aplicación muy amplia, abarcando desde los procesos de producción, pasando por aspectos tales como los de calidad y mantenimiento. Los jefes de Toyota enfocados en resolver el gran problema, que estaba centrado principalmente en el exceso de producción, buscaron simplificar el problema, por lo que trataron de encontrar las formas de reducirlo enfocándose en tres puntos:

- El producto requerido por el cliente, y no cualquier otro.
- En el momento que se pide.
- La cantidad deseada.

Modarress (Modarress et al. 2005) señala que la aplicación con éxito de esta práctica proviene de la definición previa de objetivos en relación con el costo de cada producto. Los autores de este estudio sostienen que el método no es eficaz si los objetivos de costes no están definidos de antemano, ya que no hay presión para alcanzar ciertas metas.

El Kaizen también ha sido probado como un nuevo concepto para la gestión de costos, y ha apoyado la filosofía del Lean Manufacturing de manera que siga siendo competitiva. Las herramientas que componen al Kaizen ponen énfasis sobre la reducción continua de costos.

1.2.3. *Sistema Pull (Arrastre)*.



Otro concepto estrechamente relacionado con el concepto de Lean Production es el Sistema de Arrastre. El Sistema Pull (SP) consiste en crear una red de clientes-proveedores dentro de la organización. En el Sistema Pull quien determina la cantidad y velocidad de producción de la fábrica es el cliente. Dentro del proceso de producción, cada etapa retira del proceso anterior lo que necesita para realizar su tarea. En una Unidad de producción este concepto se materializa de la siguiente manera: un trabajo en particular sólo produce la cantidad solicitada por la estación de aguas abajo, y así sucesivamente. Esta herramienta de Lean Production se considera una fuente importante de reducción de desperdicios dentro del proceso, ya que mejora la coordinación de los diferentes sectores productivos dentro de una línea de montaje, donde el puesto de trabajo anterior sólo se puede producir lo que el siguiente puesto de trabajo está en condiciones de absorber. Se encuentran muchas publicaciones del éxito alcanzado con la aplicación del SP, lo que demuestra una serie de ventajas inherentes a la aplicación de esta herramienta. Boughton (Boughton y Arokian, 2000) publicó un caso de estudio que presenta la aplicación a la producción por las células en una PYME. Las principales ventajas que esta herramienta introduce en el sistema de producción se presentan en la Tabla 2. Sin embargo, hay una serie de dificultades en la aplicación de esta herramienta, ya que el Sistema Pull fue concebido y desarrollado para las líneas de montaje. En la tabla 3 se puede observar las principales dificultades en la aplicación del Sistema Pull.

Tabla 2 - Principales ventajas de la aplicación del Sistema Pull

Aumento de la productividad
Menor cantidad de mano de obra necesaria
Mejora en la calidad
Estabilidad en la línea de producción
Mejora Continua en el proceso

Tabla 3 - Principales desventajas de la aplicación del Sistema Pull

Falta de espacio suficiente
Discontinuidad de producción
Duplicación de recursos
Dificultad de mover equipamientos existentes
Dificultad de introducir nuevos recursos
Subutilización de recursos

En resumen, el Sistema Pull es una herramienta que puede reducir el desperdicio productivo en determinadas estructuras de producción, pero su uso debe ser considerado y estudiado, ya que se han documentado casos en que su aplicación no ha introducido mejoras en el valor del producto.

1.2.4. Six Sigma.

Otra herramienta muy relacionada con la producción Lean es el de Six Sigma. El Sistema de Gestión de Six Sigma es un sistema de buenas prácticas, desarrollado por Bill Smith y aplicada inicialmente en Motorola, luego adoptada por múltiples empresas.



Six Sigma es una aplicación rigurosa, enfocada, y altamente eficaz de principios y técnicas probadas de calidad. Incorporando elementos de la obra de los pioneros de la calidad, Seis Sigma tiene como objetivo alcanzar un funcionamiento del proceso prácticamente libre de errores. Sigma, σ , es una letra del alfabeto griego utilizada en la Estadística para medir la variabilidad en cualquier proceso. El rendimiento de una empresa se mide por el nivel sigma de sus procesos de negocio.

El Six Sigma utiliza múltiples herramientas estadísticas, pero estas herramientas se aplican dentro de un modelo simple de mejora de la performance conocido como Definir – Medir – Analizar – Mejorar – Controlar, o sus siglas DMAMC, que se describe brevemente como:

- **Definir** el problema o el defecto y los objetivos de la actividad de mejora.
- **Medir** el sistema existente y recopilar datos
- **Analizar** el sistema para identificar los caminos para eliminar la diferencia entre el sistema actual y el objetivo buscado.
- **Mejorar** el sistema.
- **Controlar** el nuevo sistema.

Los objetivos principales de este sistema son:

- Comprender y gestionar las necesidades del cliente,
- Alinear los procesos claves del negocio para satisfacer las necesidades del cliente.
- El uso de un estricto sistema de control para minimizar las variaciones del proceso.
- Evolucionan de forma rápida y sostenida en los procesos claves.

1.2.5. Sistema SMED.

Por último, queda por mencionar la herramienta en que se centra este trabajo integrador, el método SMED. Esta metodología se generó cuando Shigeo Shingo desarrolló un programa para reducir el tiempo de inactividad de los equipos en el cambio de serie para la empresa Toyota, el Cambio de Útiles en Minutos de un Dígito. La reducción de tiempo muerto del equipo a minutos o incluso segundos permitiría rentabilizar la producción de lotes pequeños, reduciendo así los diversos costos relacionados con el stock.

2. Análisis de métodos y tiempo.

El SMED siendo una herramienta especializada del sistema JIT, estructurada como un método particular para el análisis focalizado en la reducción del tiempo de cambio de serie de máquinas, el SMED se nutre de los principios del Estudio y Diseño del Trabajo a través del Análisis de Métodos y Tiempos.

2.1. Ingeniería de Métodos



Los términos análisis de operaciones, diseño y simplificación del trabajo, ingeniería de métodos y reingeniería corporativa se usan con frecuencia como sinónimos. En la mayoría de los casos se refieren a una técnica para aumentar la producción por unidad de tiempo o disminuir el costo por unidad de producción, es decir el mejoramiento de la productividad.

2.2. Estudio de tiempo y movimiento

El estudio de tiempos y movimientos es una herramienta para la medición de trabajo utilizado con éxito desde finales del Siglo XIX, cuando fue desarrollada por Taylor.

A través de los años dichos estudios han ayudado a solucionar multitud de problemas de producción y a reducir costos.

Se deben compaginar las mejores técnicas y habilidades disponibles a fin de lograr una eficiente relación hombre-máquina. También está incluida la responsabilidad de vigilar que se cumplan las normas o estándares predeterminados, y de que los trabajadores sean retribuidos adecuadamente.

Estas medidas incluyen también la definición del problema en relación con el costo esperado, la reparación del trabajo en diversas operaciones, el análisis de cada una de éstas para determinar los procedimientos de manufactura más económicos según la producción considerada, la utilización de los tiempos apropiados y, finalmente, las acciones necesarias para asegurar que el método prescrito sea puesto en operación cabalmente.

Estudio de tiempos: Actividad que implica la técnica de establecer un estándar de tiempo justificado para realizar una tarea determinada, con base en la medición del contenido del trabajo del método prescrito, con la debida consideración de la fatiga y las demoras personales y los retrasos inevitables.

Estudio de movimientos: para el desarrollo moderno del estudio de los movimientos fue generoso el aporte de Frank Gilbreth y su esposa Lilian, que se puede definir como el estudio de los movimientos del cuerpo humano al realizar una operación, para mejorarla mediante la eliminación de movimientos innecesarios, la simplificación de los necesarios y el establecimiento de la secuencia de movimientos más favorable para la eficiencia máxima del cuerpo al ejecutar un trabajo.

La ventaja de la estandarización del método de trabajo resulta en un aumento en la habilidad de ejecución del operario, lo que mejora la calidad y disminuye la supervisión personal por parte de los supervisores; el número de inspecciones necesarias será menor, lográndose una reducción en los costos.

Es muy importante que el analista registre toda la información obtenida mediante la observación directa, concerniente a la operación, en previsión de que sea necesaria para consultar posteriormente el estudio de tiempos.

La información se puede agrupar como sigue:

- Información que permita identificar el estudio de cuando se necesite.



- Información que permita identificar el proceso, el método, la Instalación o la máquina.
- Información que permita identificar al operario.
- Información que permita describir la duración del estudio.

Es necesario realizar un estudio sistemático tanto del producto como del proceso, para facilitar la producción y eliminar ineficiencias, constituyendo así el análisis de la operación y para lo que se debe considerar lo siguiente:

- Objeto de la operación
- Diseño de la pieza
- Tolerancias y especificaciones
- Material

3. Teoría del sistema SMED.

3.1. Creación del método SMED. Reseña histórica

Este capítulo tiene como objetivo describir el origen del método SMED así como su evolución. Se realizara una breve introducción histórica describiendo su evolución a partir de la realidad industrial hasta convertirse en un nuevo paradigma de la industria manufacturera y su inclusión a un nivel global y su encuadramiento en las filosofías de gestión industrial.

Desde la publicación de Shigeo Shingo (1985) en la cual describe exhaustivamente el SMED, la metodología usada para mejorar el desempeño de los cambios de serie. A partir de ese momento el método fue descrito y promovido en muchas obras de literatura de gestión industrial, y también fue ampliamente implementado por la industria para mejorar los procesos productivos.

La técnica SMED, cuyo término proviene del acrónimo de la expresión inglesa “Single Minute Exchange of Die” que significa en español Cambios de Útiles en Minutos de un Dígito, el término se refiere a la teoría y técnicas para realizar las operaciones de preparación en menos de diez minutos nace de la mano de la multinacional japonesa Toyota. Sakichi Toyoda (Japón, 1867-1913), fundador de Toyota, que comenzó su camino industrial en el taller de telas de su madre. En 1938, Sakichi Toyoda, tras visitar la planta de Ford en EE. UU., funda la primera planta de Toyoda (posteriormente, su hijo Kiichiro Toyoda le cambiaría el nombre a Toyota, para facilitar su pronunciación), de fabricación de automóviles a gran escala. Durante la posguerra, la industria americana estaba en cabeza, y la industria japonesa debía al menos alcanzarla o de lo contrario no sobreviviría. El gran reto entonces consistió en producir múltiples modelos con un bajo volumen de demanda. Taiichi Ohno, ingeniero de Toyota (desde sus orígenes textiles), junto a Shingeo Shingo, consultor y entrenador de Toyota Motors, consiguieron reducir el tiempo de cambio de la matriz de las prensas utilizadas para realizar las carrocerías adaptándose así a los nuevos requerimientos del mercado.



La metodología del SMED desarrollada en Japón entre 1950 y 1969, tiene como finalidad la reducción de los tiempos de cambio de configuración de máquinas, como uno de los puntos más importantes en el camino de las empresas hacia la configuración de producción JIT y Lean, estructuras de producción en pequeños lotes en función de la demanda del mercado y con entrega rápida, asegurando el control operacional interno eliminando todos los costos que no agregan valor al producto o al proceso.

El SMED es uno de los pilares del SPT, creado para reducir los desperdicios producidos de forma intrínseca a los sistemas productivos. Este método permite de una manera rápida y eficiente realizar el cambio de conformación de una máquina para pasar de la producción de un producto A hacia otro producto B, permitiendo una mayor flexibilidad productiva de la instalación industrial y al mismo tiempo reducir los costos.

El punto clave del método SMED creado por Shingo es el quiebre del paradigma histórico, el cual proclamaba la producción en grandes lotes para licuar o minimizar los costos de cambio de serie, permitiendo obtener un porcentaje de tiempo de cambio de serie por pieza producida lo más bajo posible.

El cambio de serie de una máquina para pasar de un producto a otro suele ser complejo y largo. El responsable de la producción suele por tanto requerir grandes lotes de producción con el objetivo de disminuir la cantidad de cambios de serie y reducir el costo de setup por pieza, a cambio de incrementar el costo de inventario, tanto de materias primas como de productos terminados.

En esta situación, la respuesta tradicional es:

- Agrupar varias órdenes de la misma referencia y su producción en grandes cantidades, lo que lleva a la demora en la entrega y ofrecer un mal servicio a los clientes;
- Producir con anticipación generando stock en espera, sobre la base de predicciones poco fiables.

En el sistema JIT ambas alternativas son inaceptables. Para permitir la producción en lotes pequeños, logrando disminuir el volumen de las existencias en curso, y también para reducir los tiempos de entrega y responder rápidamente a los cambios del mercado, requiere de una alta disponibilidad del recurso productivo. Una oportunidad para incrementar la capacidad productiva consiste en reducir el tiempo de inactividad del equipo de producción. Otra forma es aumentar su fiabilidad, con el fin de reducir la frecuencia de las intervenciones del mantenimiento no programado. El SMED se enfoca en la primera, buscando reducir el tiempo de inactividad debido al cambio de serie.

El análisis de los costos revela que la cantidad a producir, el tamaño de lote de producción, se obtiene cuando los costos de almacenamiento se igualan a los costos de detención del flujo de producción, para el cambio de serie.



Es aquí cuando Shingo, propone que la mejor manera de reducir la cantidad óptima del lote era reducir los costos y tiempos de cambio de serie. Si los cambios de serie se pudiesen efectuar en menos tiempo, la cantidad ideal de cada lote sería menor, por lo tanto se disminuiría los costos.

Aunque faltan variables a considerar para evaluar de forma óptima el tamaño de lote, esta es una aproximación importante. La producción en grandes lotes tiene también costos inherentes como la valorización del capital invertido en forma de inventario. Si al costo de almacenaje se le adicionan los costos de oportunidad del capital, la producción en grandes lotes deja de ser rentable.

El tamaño ideal de cada lote engloba el tiempo de producción de cada lote y el tiempo de preparación de cada línea, que es el cambio de serie en sí. Cuando el tiempo de cambio de serie es muy grande, entonces el tamaño del lote debe ser mayor, de modo que cada pieza producida contenga la menor cantidad de tiempo posible, ya sea productivo o de cambio de serie. Además de este punto, es importante la estabilidad de la calidad del proceso productivo, debido a que la calidad resultante del producto influye al definir el lote, puesto que el porcentaje previsto de piezas defectuosas incrementa el tamaño de lote.

Además de la reducción de tamaño de lote, se pueden conseguir otros beneficios como la reducción del tiempo de ciclo, mayor velocidad de producción y mejor posibilidad de identificación de problemas de calidad

Este último punto está considerado en el método SMED, sabiendo de la importancia y el valor de una correcta configuración inicial de la máquina para generar productos de calidad durante todo el proceso productivo, con la idea de obtener un arranque de producción lo más vertical posible.

Además de estos puntos, Abdullah (Abdullah, 2007) hace mención a que la cantidad óptima de producción es de muy difícil aplicación, ya que se trata de una cantidad muy difícil de calcular con exactitud, principalmente debido al número de piezas defectuosas producidas en cada lote.

3.2. Vocabulario y términos claves del SMED

Cambio de serie. Se entiende como aquel periodo que transcurre desde la fabricación de la última pieza válida de una serie, hasta la primera pieza correcta en régimen de la siguiente serie.

Es muy importante hacer hincapié en que el cambio no termina hasta que se consigue sacar la primera pieza correcta, pues en numerosas ocasiones, el tiempo dedicado a las pruebas es superior al tiempo de preparación de la máquina.

Período de Setup. Este es el intervalo durante el cual no ocurre manufactura dentro del cambio de serie. Suele estar representada por el cambio de configuración de la máquina y el ajuste y calibración del herramental antes del inicio del Run Up, que incluye la manufactura aún no estabilizada.

Período de baja (Run Down Period). En algunos procesos se debe desacelerar previamente un tiempo antes previo a la detención total, lo cual implica una disminución de la producción previa al cambio de serie.



Período de alta (Run Up Period). 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 consecuentemente con una calidad de producto aceptable. Muchas veces el tiempo de RU es varias veces mayor al tiempo de setup propiamente dicho.

Operación o tarea interna. Shingo describe al tiempo de tarea u operación interna como aquel que transcurre durante el setup en el cual no se produce manufactura y la máquina se encuentra detenida, o igualmente cuando la máquina se encuentra en marcha con el nuevo producto pero si 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 CS.

Operación o tarea externa. Shingo define el término de operación externa al tiempo o 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.

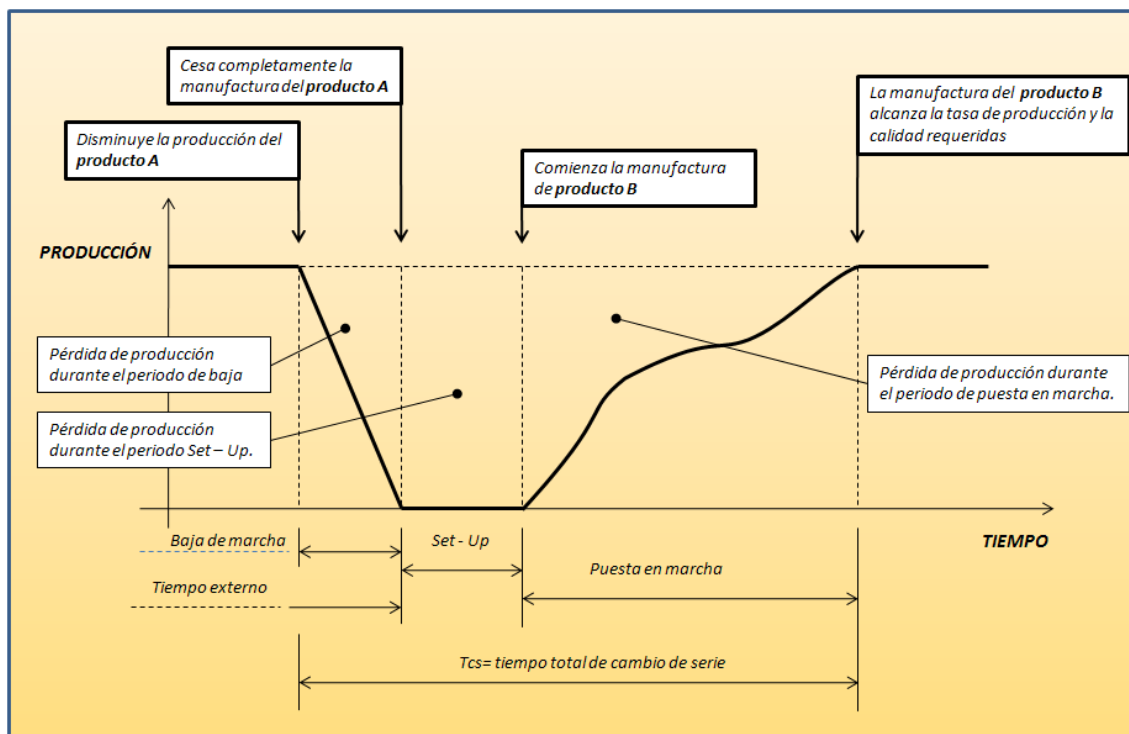


Gráfico 1 – Esquema representativo del comportamiento de la producción durante el cambio de serie y sus etapas. Fuente: *Improving Changeover Performance*. R.I. McIntosh et.al. (2001)

3.3. Descripción del método SMED.

Las palabras que utiliza Shingo para describir su método: “el SMED es un abordaje científico para la reducción del tiempo de setup, que puede ser aplicada en cualquier unidad industrial y en cualquier máquina”. También Shingo le da característica de método aplicado en fases:

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



Fase 1: separación entre operaciones internas y externas.

Fase 2: conversión de operaciones internas en operaciones externas.

Fase 3: mejora de todas las operaciones de setup, tanto internas como externas.

Una descripción más profunda de las etapas o fases que componen el método SMED.

Fase 0. Análisis preliminar: Observar, medir y analizar.

“En esta situación el cambio de serie se encuentra desorganizado y no planeado. El cambio de serie se lleva a cabo a partir de varias tareas, siendo algunas de ellas internas, que implican necesariamente la detención de la máquina (internas) y otras pueden ser realizadas con la máquina en marcha de producción”

Es la primera de las etapas del método, y fundamental para el éxito del análisis posterior. En ella se ha de realizar un análisis profundo de las operaciones que se realizan en el cambio, desglosándolas todo lo posible y determinando el tiempo que requiere cada una de ellas, además de los utillajes y herramientas que se precisan.

Además de conocer las operaciones que se realizan, es fundamental que se deba comprender por qué se realizan y el verdadero valor que esta agrega al proceso de cambio de serie. En algunos casos será muy evidente, en otros, todo lo contrario. Es muy posible que incluso nadie sepa por qué se realiza una tarea, ya que simplemente se deba al hábito y no a la necesidad.

Tres herramientas que facilitan el trabajo de análisis en esta etapa son:

1. **Manual de la máquina**, que en numerosas ocasiones nos ayudará a entender algunas de las operaciones del cambio y a responder muchas de las preguntas que nos hacemos.
2. La **cámara de vídeo**, con la que podremos grabar los cambios, para desglosar más fácilmente las operaciones pues lo podremos ver en repetidas ocasiones. Por otro lado, será muy útil para determinar los tiempos de cada una de ellas. En el caso de que existan dos personas, se recomienda tomar un plano donde entren todas las personas o bien que existan tantas cámaras como personas activas para el cambio de serie, lo cual favorecerá la realización de grabaciones que permitan un estudio mucho más detallado.
3. El **cursograma analítico SMED**, es un diagrama que tiene como principal objetivo proporcionar una imagen clara de toda la secuencia de los acontecimientos del cambio de serie, estudiando las fases del proceso en forma sistemática, permitiendo observar las operaciones de manera objetiva para eliminar el tiempo improductivo, disminuir el manejo de materiales y evitar las demoras. Además otorga la posibilidad de estudiar las operaciones y las inspecciones interrelacionadas dentro del cambio de serie.

El cursograma analítico diseñado para este trabajo SMED en formato digital Excel permite:



- a. Distinguir cuales son los inputs fundamentales al proceso de cambio de serie, los procesos particulares y las salidas generadas por cada operación de la máquina en particular durante un cambio de serie.
- b. Identificar las operaciones de setup estándar y los respectivos parámetros del proceso requeridos para un cambio de serie efectivo.
- c. 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.
- d. Permite identificar cada tipo de operación realizada y discriminando su duración particular, tipificándola según sea:
 - Operación de valor:
 - Operación de transporte o movimiento:
 - Operación de espera o demora:
 - Operación de control:
- e. La matriz de conversión: es una planilla Excel alimentada de los datos del cursograma del cambio de serie, aquí se revisa el método actual de cambio de serie, confrontando el actual y las nuevas ideas y propuestas que darán forma al nuevo método. Principalmente tiene como objetivo identificar tareas internas no externables, aquellas altamente ineficientes y analizar mejoras posibles (ya sea una mejora en el método o tecnológica) y construir completamente el nuevo método de cambio de serie.
- f. Estimar tiempos de la mejora en cada propuesta y predecir tentativamente el impacto porcentual de reducción global.

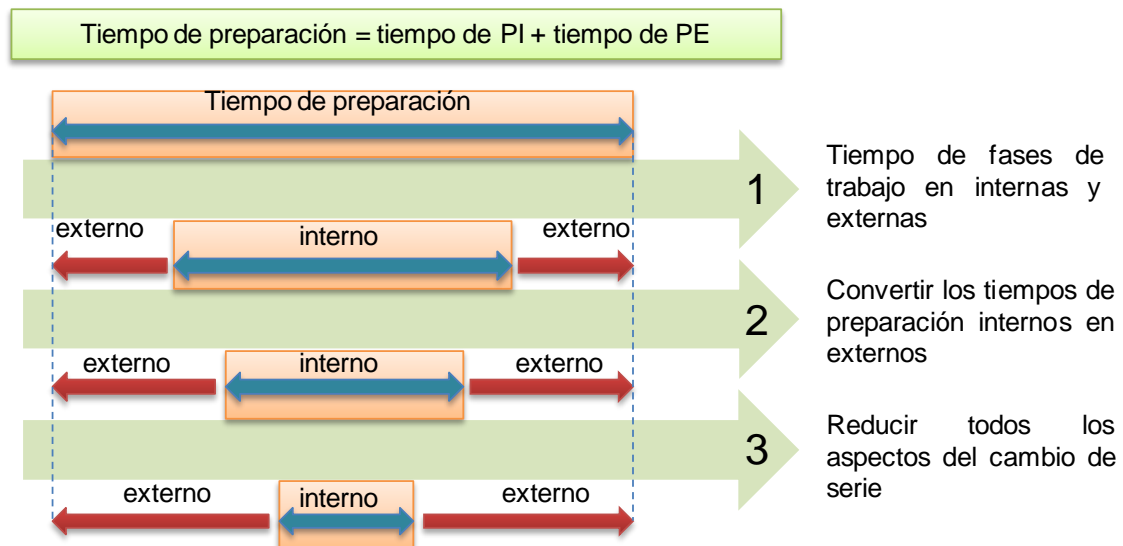


Gráfico 2 – Etapas o fases del método SMED y la reducción del tiempo de máquina detenida



Fase 1. Separar operaciones internas y externas.

“el primer paso es distinguir entre operaciones internas y externas y garantizar que estas se realizan con la maquina detenida”

Al respecto de esta etapa Shingo comenta:

“[...] si se hace un esfuerzo científico para la explotación al máximo posible de la configuración de setup para ser llevado a setup externo, entonces el tiempo interno necesario para que el procedimiento de setup se lleve a cabo se podrá reducir en un 30-50%. El control de la separación entre estructura interna y externa es el pasaporte para llegar al SMED.” (SHINGO, 1985)

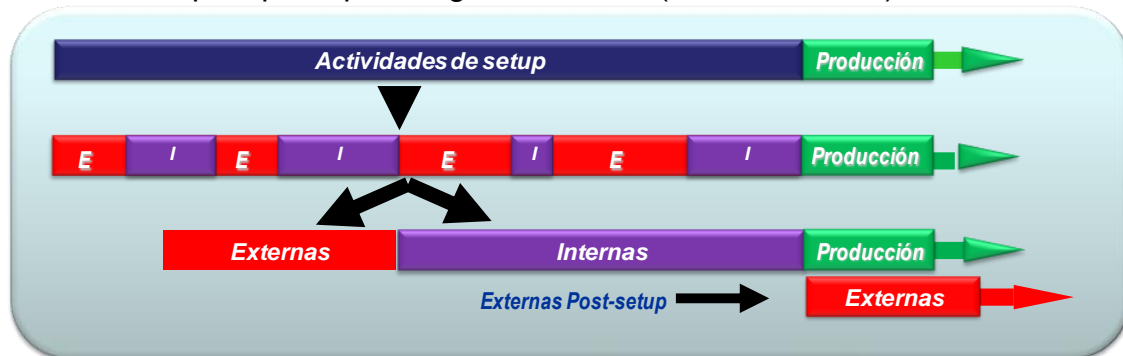


Gráfico 3– Fase 1 del método SMED

Las actividades de más desarrollo en esta fase de optimización, orientadas a la planificación previa de actividades al cambio de serie y su control:

- Listas de control.
- Control de funciones.
- Transporte de partes y herramientas

Fase 2. Convertir operaciones internas a externas

“seguidamente el objetivo pasa por intentar convertir las operaciones internas en externas.”

Una vez se han desglosado todas las operaciones con el mayor rigor que sea posible, es necesario estudiar una por una, haciéndonos siempre la misma pregunta: ¿esta operación se podría hacer con la máquina en marcha? Luego es claro entender que todas aquellas operaciones que se puedan realizar con la máquina en marcha acortaran el tiempo de cambio con la máquina detenida.

En un primer momento puede pensarse que todas las operaciones que se realizan durante el cambio son necesarias, pero al analizar de modo analítico las operaciones se observa que son muchos los movimientos innecesarios que se realizan durante el cambio, en algunos casos simplemente por no tener todos los útiles y herramientas convenientemente organizados.

Para convertir las operaciones internas en externas se ha de estar pensando en modificaciones técnicas, modificaciones del método de trabajo, redistribuciones de operaciones, sincronización de tareas, etc.



Al realizar el SMED, es importante no sólo considerar los instantes que dura el cambio, sino también de los periodos de fabricación, que influyen directamente de distintas maneras:

1. En el caso de tiradas de fabricación muy cortas puede darse el caso de que los operarios no tengan tiempo suficiente para poder realizar todas las operaciones externas.
2. Si se trata de una máquina que no es completamente 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.

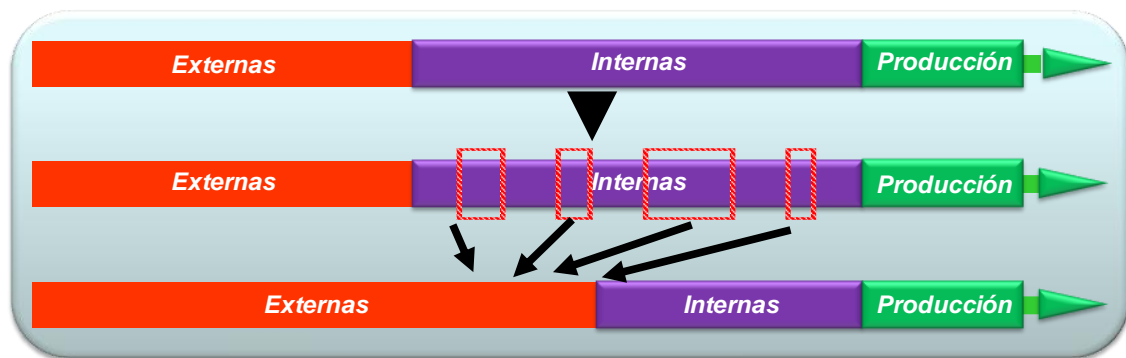


Gráfico 4 – Fase 2 del método SMED

Las actividades aplicadas están orientadas retirar del cambio de serie todas aquellas operaciones que puedan ser realizadas previamente:

- Preparación avanzada de las condiciones de operación.
- Estandarización de funciones.
- Pre-reglaje de Herramientas.
- Uso de guías intermediarias.

Fase 3. Optimización de operaciones internas y externas.

Este paso tiene como objetivo reducir el tiempo de las operaciones externas e internas, además del desarrollo de soluciones para realizar las diferentes tareas de forma rápida, fácil y segura. La optimización externa es importante, ya que no sería razonable si el cambio de serie demora nueve minutos y cinco horas el tiempo de preparación externo.

Una vez que se han pasado todas aquellas operaciones internas –y que se pueden realizar con la máquina en funcionamiento – a externas, aún se debe recortar más tiempo a través de la optimización, desarrollando soluciones para reducir el tiempo de operaciones internas y externas.



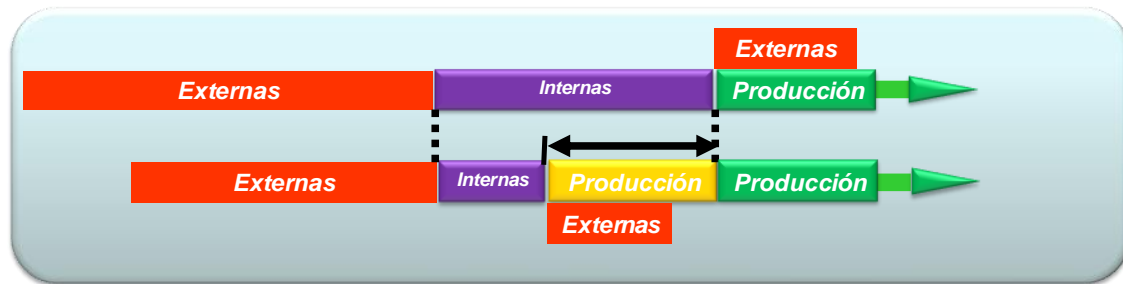


Gráfico 5 – Fase 3 del método SMED

Las actividades de más desarrollo en esta fase de optimización se tienen para las operaciones externas:

1. Mejorar la logística, administración, almacenamiento y transporte de partes, dispositivos y herramientas.
2. Eliminar los desplazamientos esperas y búsquedas
3. Mejorar todos los aspectos en la reducción del tiempo de cambio de serie.

En cuanto a las operaciones internas,

4. Implementación de operaciones en paralelo.
5. Anclajes funcionales.
6. Eliminación de ajustes.
7. Mecanización.

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, es decir, que si un cambio lo realiza una sola persona y dura 10 minutos, al realizarlo dos personas durará cinco minutos. Lógicamente, debido a la naturaleza de las tareas que se han de realizar, es muy difícil que se consigan estos repartos de tareas completamente equitativos.

Una vez que ya se han repartido las tareas entre las personas, en el caso de que dos o más personas intervengan en el cambio, es el momento de empezar a pensar en ideas que nos ayuden a reducir tiempo. Estas ideas deben enfocarse a aquellas tareas que aumentan directamente el tiempo total del cambio. En algunos casos, pasará simplemente por pequeñas actuaciones técnicas, como adquirir destornilladores eléctricos o neumáticos que acorten los tiempos de atornillar o aflojar tornillos. En otros casos se tratará de proyectos de mejora que eliminen operaciones o las hagan más sencillas, y que requerirán un estudio de costos, de la ganancia en segundos y de la relación coste/ganancia, pudiendo incluso llegar a automatizar algunas de las tareas o funciones.

El creador del SMED en su libro (Shingo, 1985), describe además la creación de procedimientos rigurosos de cambio de serie para la correcta aplicación del método, para poder conseguir el éxito global de su implementación y la mejora continua del mismo.



Es fundamental también el recentro de mecanizado al punto de la fase 0, y repetir todo este procedimiento 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 implementan nuevas soluciones, que permiten obtener nuevas ganancias de productividad.

Existe un conjunto de herramientas y técnicas que permiten una mejor aplicación de las fases anteriormente mencionadas. Estas mismas herramientas que han sido descritos por McIntosh (McIntosh et al. 2007) y se enumeran brevemente en la Tabla 4 y de un modo más amplio en el **Anexo A** (pág. 72) con la Matriz de técnicas de mejora del cambio de serie.

Fases conceptuales del SMED	Herramientas aplicables
Fase 1: Separar operaciones internas y externas	Uso de check list
	Definición de funciones de cada operario
	Mejorar el transporte de herramientas
Fase 2: Convertir operaciones internas en externas	Preparar los cambios de serie previamente
	Automatización de las funciones
	Uso de diferentes dispositivo
Fase 3: Mejorar todos los aspectos de reducción de tiempo de cambio de serie	Mejorar el almacenamiento y transporte de herramientas
	implemenaatacion de operaciones en paralelo
	Eliminación de ajustes
	Mecanización

Tabla 4 – Etapas o fases del método SMED y la reducción del tiempo de máquina detenida

3.4. Concepto de lote económico bajo enfoque SMED

Para determinar la cantidad conveniente a producir, se utiliza un modelo matemático cuyo principio es encontrar el lote de a una tasa finita de producción y sin faltante, para el cual los costos por emitir la orden de producción y los costos por mantenerlo en inventario se igualan. El modelo fue formulado inicialmente por E. W. Taft en 1918. Este modelo se basa en las siguientes premisas:

1. La demanda es conocida, constante e independiente. El modelo puede aplicarse en diferentes unidades de tiempo.
2. Los productos son producidos y vendidos simultáneamente
3. El lead time (tiempo de carga o tiempo de reabastecimiento) del proveedor es constante y determinístico.
4. El nivel de inventario se reabastece progresivamente a lo largo de un período de tiempo.
5. La cantidad a pedir es constante.
6. Los costes totales son la suma de los costes de mantener el inventario y los costes de pedido (orden), y son constantes a lo largo del tiempo.
7. No existen descuentos por volumen de pedido.

Como los costos de orden de producción e inventario se comportan en forma contraria, es posible determinar un tamaño de lote de producción para el cual los costos son mínimos.



Este modelo se caracteriza porque en sus costos no hay un costo de hacer un pedido sino un Costo de Orden de Producción (Cop). Además se parte del supuesto que la Tasa de Producción (R) es siempre mayor que la Tasa de Demanda (d). También toma en cuenta tiempo (t_1) que dura la producción y el tiempo (t_2) en el que se consume el inventario. En la siguiente gráfica se relacionan las cantidades con respecto al tiempo:

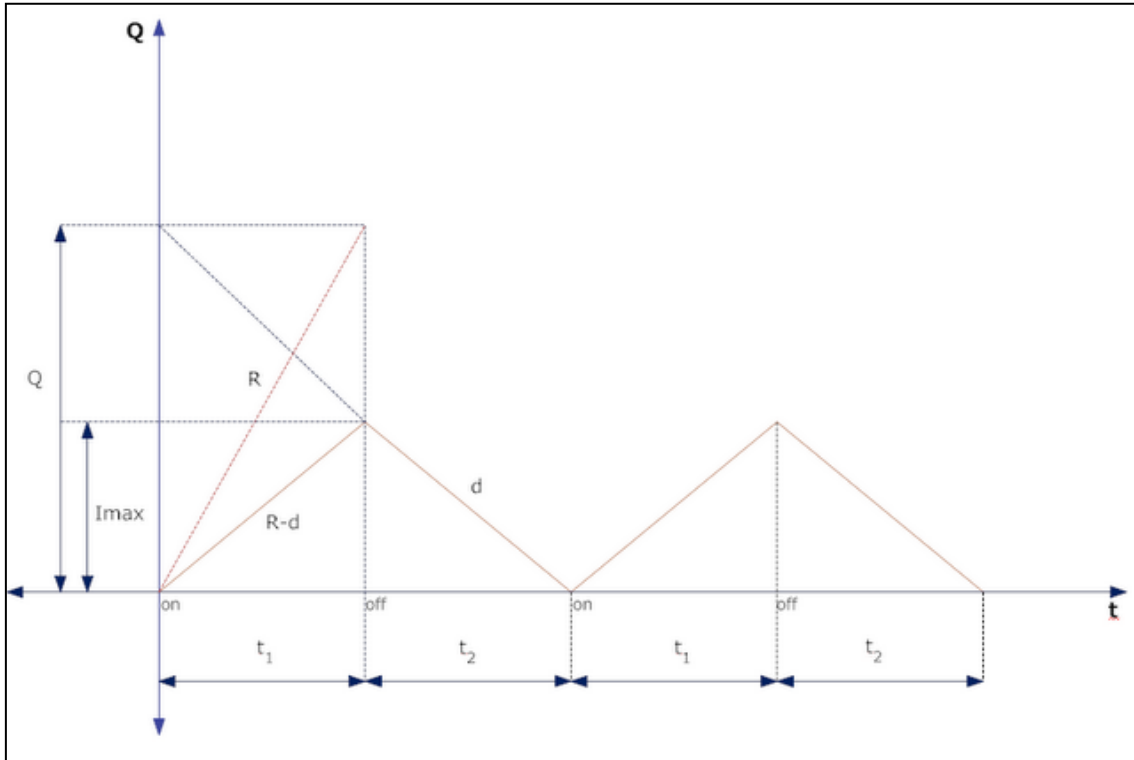


Gráfico 6 – Relaciones entre las variables de Lote Económico con respecto al tiempo.

Esta fórmula se obtiene igualando a cero la derivada de la expresión en la cual se suman los costos de producción y mantenimiento de inventario, que equivale a determinar el mínimo matemático de los dos costos.

Desarrollo de la fórmula:

Siendo:

- D = Demanda agregada.
- d = Tasa de Demanda.
- Cop = Costo de orden de producción - cambio de serie.
- R = Tasa de producción.
- Cmi = Costo de mantenimiento de inventario.
- Q = Tamaño del lote a producir.
- Q^* = Tamaño de lote óptimo.
- N = Cantidad de pedidos en el periodo.
- t_1 = tiempo de producción.
- t_2 = tiempo de agotamiento del inventario.
- $I \text{ máx}$ = Inventario máximo.
- Cu = costo unitario.



Tenemos:

$$Q = R * t_1 \rightarrow t_1 = \frac{Q}{R} \quad y \quad N = \frac{D}{Q}$$

$$I_{max} = (R - d) * t_1 \rightarrow I_{max} = (R - d) \frac{Q}{R} \rightarrow I_{max} = Q * \left[1 - \frac{d}{R}\right]$$

El costo de un pedido resulta entonces:

$$C(Q) = Cu * Q + Cop + Cmi \frac{(t_1 + t_2)}{2} * I_{max}$$

El costo total en el periodo, para N pedidos es:

$$CTP = N * C(Q) = N \left[Cu * Q + Cop + Cmi \frac{(t_1 + t_2)}{2} * I_{max} \right]$$

Multiplicando la ecuación por N y reemplazando t se llega a:

$$CTP = \frac{D}{Q} \left[Cu * Q + Cop + Cmi \frac{t}{2} \left[1 - \frac{d}{R}\right] * Q \right]$$

Cancelando términos se obtiene:

$$CTP = CuD + \frac{D}{Q} Cop + \frac{CmiQ}{2} \left[1 - \frac{d}{R}\right]$$

Para encontrar Q*, derivamos e igualamos a cero y luego despejamos:

$$f(Q) = -\frac{D}{Q^2} Cop + \frac{CmiQ}{2} \left[1 - \frac{d}{R}\right]$$

Finalmente obtenemos la expresión:

$$LEP = EQP = Q^* = \sqrt{\frac{2 * Cop * D}{Cmi \left(1 - \frac{d}{R}\right)}}$$

Fuente: Nahmias, Steven (2007), *Análisis de la producción y las operaciones*.
Editorial McGraw-Hill.

Análisis del Costo de Orden de Producción (Cop)

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.

$$Cop = Cadmin + Ccs$$



Análisis del Costo de Mantenimiento de Inventario (Cmi)

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

$$Cmi = C_U * i$$

Efecto del SMED sobre el tamaño de Lote Productivo

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.

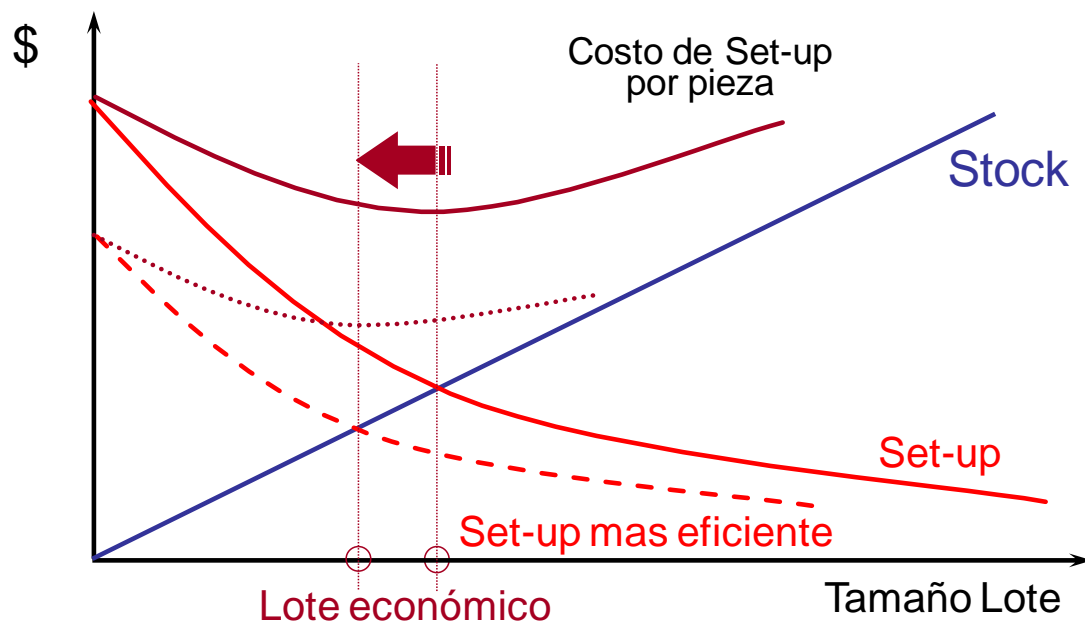


Gráfico 7 – Curvas de costos de Stock y Cambio de serie. Impacto de mejora en la performance del cambio de serie y por tanto en el LE. Determinación gráfica de lote económico. Fuente: *Improving Changeover Performance*. R.I. McIntosh et.al. (2001)

3.5. Ventajas competitivas otorgadas por el SMED

La producción de grandes lotes disminuye el efecto del tiempo de preparación de máquina y reduce las horas hombre por unidad producida. La combinación de operaciones de preparación ahorra tiempo de preparación y conduce a un



incremento de la eficacia, la capacidad de producción y la reducción del tamaño de lote.

Es importante recordar y siempre tener en mente que alcanzar el rango de cambio de serie en menos de 10 minutos no siempre es posible para todos los setup, pero un programa de cambio de serie puede reducir dramáticamente el tiempo de cambio de serie en casi todos los casos así que cualquier reducción de este tiempo, agrega una gran mejora al tiempo productivo.

Un programa de cambio de serie rápido, de ser efectivo, puede otorgar las siguientes ventajas:

1. *Reducción de los tiempos muertos del equipo – se incrementa la capacidad de manufacturar más productos en un periodo de tiempo determinado en el que ocurre el cambio de serie.*
 - *Mayor capacidad de producción.* Para un determinado período de tiempo es posible incrementar la disponibilidad a través de realizar con mayor eficiencia los cambios de serie sin alterar substancialmente la frecuencia. Ver gráfico 5.
 - *Mayor capacidad de disminuir el OEE (Overall Equipment Effectiveness),* asociando el mantenimiento preventivo de modo combinado con el cambio de serie. Esto puede suceder cuando en las actividades de cambio de serie incluyan por ejemplo acciones de monitoreo y reemplazo de partes o componentes desgastados, por consiguiente el aseguramiento y la asistencia de mantenimiento permiten que las condiciones del equipo no declinen incrementando la performance del cambio de serie.

$$OEE = \frac{\text{Tiempo trabajado en piezas aptas entregadas}}{\text{Tiempo de apertura de la instalación}}$$

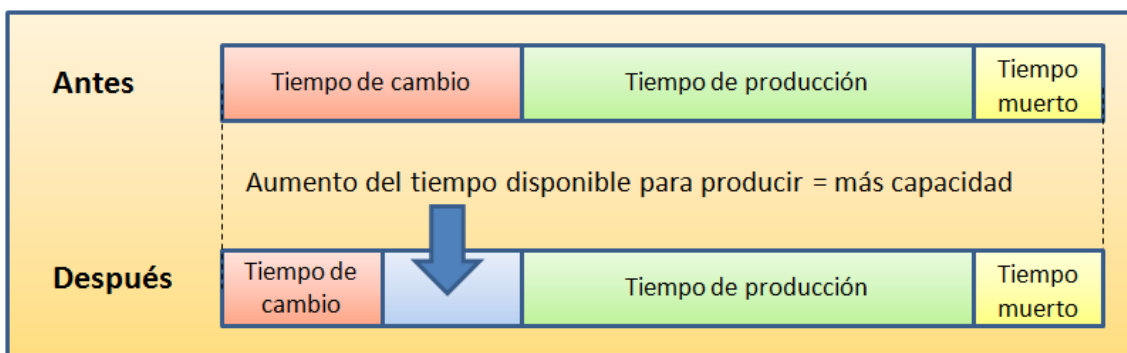


Gráfico 8 - Incremento de la capacidad productiva – productividad por SMED: se logra traducir la reducción en tiempo de cambio de serie en un aumento de tiempo disponible para la producción.

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 puede ser considerable. Si las demandas de entrega superan la capacidad de manufactura en el corto plazo sí debería ser apropiado proveer en parte desde stock. Aun así es necesarios el correcto dimensionamiento del mismo para no producir en exceso que deba permanecer en almacén.
 - *Menor inventario de producto en proceso (WIP: work in process).* En casi todos los procesos cualquier forma de inventario debería ser estimada como un “seguro” costoso. Por lo tanto el inventario de producto en proceso debe también ser reducido al mínimo posible, salvo donde se considere que el uso de WIP mejore el desempeño de la producción.
3. *Reducción de recursos – esto incluye la menor necesidad de incremento de maquinarias y de recurso humano operativo.*
- *Menor requerimiento de recurso humano en el cambio de serie.* Al mejorar las practicas del cambio de serie, generalmente disminuyendo el contenido de trabajo a través de mejoras en el diseño, automatización y ajustes eficientes de máquina; conducen a la reducción de la labor humana.
 - *Simplificación del cambio de serie.* Esta mejora puede presentarse a causa de mejoras tecnológicas y/o metodológicas. Un procedimiento correctamente planeado y aprendido lleva a evitar las ineficiencias de métodos poco convenientes y requiere de menos esfuerzo y atención por parte de los operarios.
 - *Actualización del equipamiento.* La capacidad que brinda el SMED de concentrar manufactura sobre menos equipamiento nos ofrece la oportunidad de distribuir la carga de producción existente en menos máquinas o inclusive evitar la compra de nueva maquinaria para incrementar la capacidad productiva.
 - *Liberación de espacio.* El equipamiento de manufactura y el inventario requieren de un valioso espacio. La mejora del desempeño de cambio de serie y la reducción de inventario pueden tener efecto en el incremento de espacio generando posibilidades de mejor distribución de maquinaria y el control de las operaciones o espacio para otros propósitos, e incluso evitar la expansión de las operaciones de producción.
4. *Flexibilidad mejorada – se consigue a través de ser mejor y más capaz de comenzar la manufactura de cantidades muy pequeñas de un determinado producto de un rango especificado de productos en cualquier momento. Por consiguiente la mejora en la flexibilidad de manufactura puede ser usada para mejorar la respuesta al cliente y por tanto la capacidad de ser más fuertes en el momento de asimilar nuevos mercados. Gráfico 9*
- *Mejor respuesta a las necesidades del mercado.* Los cambios de serie rápidos son capaces de proveer al cliente una reducción de los plazos de entrega de lotes de producto en cantidades más precisas, incluso mejorando las necesidades de inventario del propio cliente.



- *Mejor capacidad de reducir la incertidumbre interna.* Los requerimientos del mercado representan una fuerte influencia sobre la organización y los cambios de serie más eficientes permite cambiar la administración de las operaciones de manufactura de un modo más eficiente, al mejorar por ejemplo, el nivel de falla del equipo, administración inadecuada de la materia prima, malos pronósticos, comunicación deficiente, programación imprecisa o baja velocidad en la toma de decisiones.
- *Mejor respuesta a los problemas de manufactura.* Los caprichos de las operaciones de manufactura podrían ser tales que la calidad o las tasas de producción caigan más de lo previsto. Pero el hecho de mantener bajos niveles de WIP y producto terminado permiten que tales problemas sean más rápidamente identificados y tratados.
- *Mejor potencial de proveer a “nichos” del mercado.* 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.
- *Mayor potencial de tomar negocios de alto margen de beneficio.* 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 permiten 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.

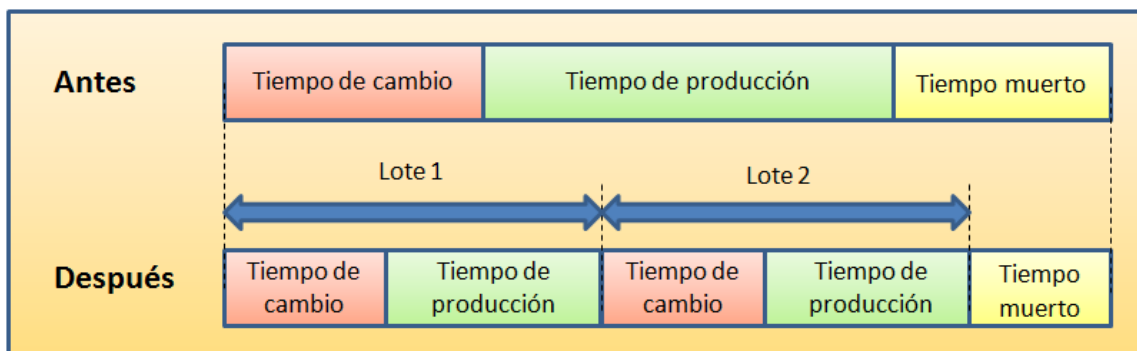


Gráfico 9 - Diversificación de la producción y reducción de inventarios.

5. *Control del proceso mejorado – se consigue a través de los cambios de serie de mayor calidad. Esta es potencialmente el área de beneficio con más dificultad para ser medida, tales como mejor disciplina, cambios en el diseño, mejor integración con mantenimiento, mejor lay out del equipamiento, son todos ellos de difícil valoración.*



- *Calidad del producto mejorada.* Un setup rápido y un programa de cambio de serie puede mejorar la calidad de los productos al ayudar a definir mejor, simplificar y controlar los procesos de manufactura.
- *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 mejor satisfechos con sus tareas puede llevar a una tasa de rotación de puestos mucho menor.
- *Incremento de la capacidad de volumen del proceso.*
- *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.
- *Reducción de las tasas de scrap.* Durante la fase de *Run – Up* o puesta en marcha luego del setup, si se consigue mejorar la calidad de los ajustes, 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 ensayo hasta alcanzar la estabilización del proceso productivo.
- *Mejora de la seguridad.* Al realizar el análisis de cambio de serie es posible estudiar aquellas posibles amenazas al operario que se pueden suceder durante el cambio de serie, tales como ergonomía y aspectos inseguros de la dinámica del cambio de serie.

Fuente: *Improving Changeover Performance. R.I. McIntosh et.al. (2001)*

3.6. Causas por las que el SMED no es implementado.

A pesar de estas numerosas y valiosas ventajas, muchas empresas no han comenzado a implementar el concepto SMED, siendo las mayores causas que alejan a las empresas de la implementación, las siguientes:

- Visión estratégica a corto plazo.
- Falta de credibilidad o factibilidad en los beneficios a ser ganados.
- Creer que la compañía está muy “ocupada” como para poder implementar el SMED.
- Haber estado expuesto a fallas frente a programas similares en ocasiones pasadas.
- El sentimiento de que la empresa se encuentra en estado óptimo y ya no se pueden obtener mejoras.
- La creencia que la reducción de tiempos de cambio de serie siempre involucra una inversión muy elevada.

El punto más importante es que la reducción de los tiempos de cambio de serie reintegra la inversión y genera ahorro de costos, disminuye el nivel de esfuerzo de trabajo para los operarios, y además los beneficios son compartidos por el conjunto operarios – empresa – cliente.

