
SMED

PID_00253869

Joan Ram3n Gomà Ayats

Tiempo m3nimo de dedicaci3n recomendado: 2 horas



**Joan Ramón Gomà Ayats**

Joan Ramon Gomà Ayats (Santa Coloma de Gramenet, 1960) es doctor ingeniero industrial, profesor agregado del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica de Cataluña en la especialidad de procesos de fabricación. Es miembro del grupo de investigación de tecnologías de la producción de la UPC (TECNOFAB) y hasta diciembre de 2009 fue director general de la Fundación Centro CIM.

Índice

Introducción.....	5
1. Gestionar las operaciones de preparación de máquina.....	7
1.1. Gestionar el transporte	8
1.2. Elaborar listas de comprobación	8
1.3. Crear listas de comprobaciones funcionales	9
2. Convertir operaciones de preparación improductivas en productivas.....	11
2.1. Cambio de matrices en las prensas	11
2.2. Cambio de moldes en máquinas de inyección de plástico	12
2.3. Cambio de utillajes de sujeción en centros de mecanizado	13
2.4. Reglaje de herramientas en máquinas de control numérico	14
3. Mejorar todas las operaciones de preparación.....	15
3.1. Estandarización de funciones	15
3.2. Trabajo en paralelo	17
3.3. Aplicación de sistemas rápidos de anclajes	19
3.4. Reducción del tiempo de reglajes	20
3.5. Uso de automatismos	21
Bibliografía.....	23

Introducción

Ya se ha estudiado el impacto que tiene el tiempo de preparación de máquina en la fabricación. Por un lado, el tiempo de preparación tiene un coste y, por otro lado, el tiempo de preparación conduce a sistemas de fabricación por lotes que generan existencias que también tiene coste mantenerlas; además, la fabricación por lotes tiene un impacto en la organización de la producción, el tamaño de los almacenes y los transportes que reduce las ventajas de la automatización.

También se ha visto que hay un interés notable en el desarrollo tecnológico de procesos de fabricación directa que, si incorporan control numérico, por su naturaleza permiten reducir mucho o eliminar los tiempos de preparación.

Pero hay procesos en los que el estado de la técnica actual no permite obtener piezas con las mismas características y los mismos materiales que los procesos indirectos y, a veces, a pesar de existir una técnica, si los lotes y las series de fabricación son grandes puede interesar más utilizar los procesos indirectos. En estos casos, hay que examinar detalladamente las operaciones de cambio de utillaje y de preparación de máquina y buscar la forma de reducir al mínimo el tiempo de cambio.

La metodología SMED (en inglés, *single minute exchange of die*) presenta un conjunto de métodos que, aplicados de forma sistemática, persiguen este objetivo.

Unos primeros conceptos a tratar son el de tiempo productivo y tiempo improductivo. En el ámbito de esta metodología, el **tiempo productivo** es el dedicado a hacer operaciones necesarias para el cambio de utillaje mientras la máquina no para de trabajar y el **tiempo improductivo** se refiere al destinado a operaciones de cambio con la máquina parada. El objetivo principal es que el tiempo de máquina parada sea mínimo y, por lo tanto, se reduzca al mínimo el tiempo improductivo. Como objetivo secundario también está el de reducir al mínimo el tiempo de cambio productivo.

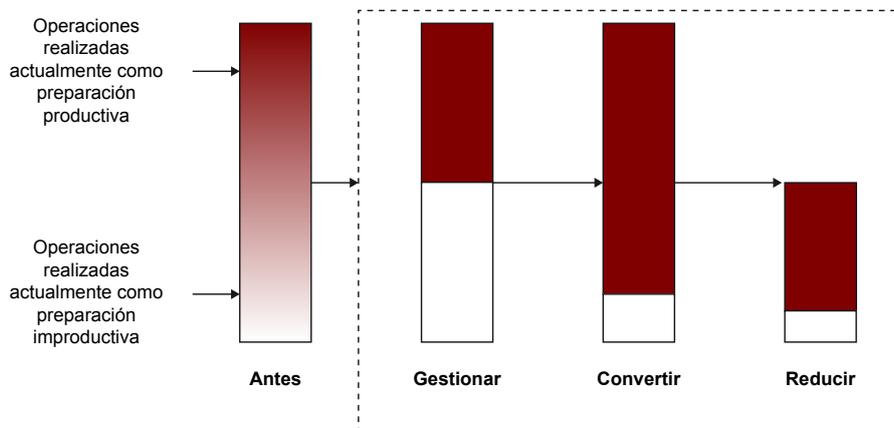
La metodología se aplica en tres etapas, que requieren niveles crecientes de inversión.

En la **primera etapa** se gestiona la preparación de la máquina. En esta fase se aplican técnicas basadas fundamentalmente en la organización del proceso y que alcanzan ganancias importantes, sin más inversión que la necesaria para el estudio del proceso, y cambios en la organización, los sistemas de gestión y la distribución en planta.

En la **segunda etapa** se transforma el tiempo improductivo en tiempo productivo y, con la máquina en marcha, se realizan operaciones que tradicionalmente se llevan a cabo con la máquina parada. Si tradicionalmente se efectúan con la máquina parada es porque hay motivos técnicos para hacerlo; por lo tanto, para poder cambiarlo, hay que proveerse de equipamientos diferentes a los habituales, lo cual requiere una inversión adicional, aunque normalmente se trata de una inversión en equipamientos estándar disponibles en el mercado.

La **tercera etapa** busca reducir tanto el tiempo productivo como el improductivo a base de cambios técnicos y organizativos. Aquí, a menudo hay que invertir en el diseño y la fabricación de soluciones específicas para cada caso.

Figura 1. Fases de la aplicación del sistema SMED



Fuente: CIDEM (2004)

1. Gestionar las operaciones de preparación de máquina

La preparación de las máquinas tiende a entrar, en muchas industrias, en un círculo vicioso. Como el tiempo de preparación es largo, el resultado del cálculo del lote óptimo resulta grande. Al trabajar con lotes grandes hay que preparar la máquina pocas veces al año para fabricar una pieza determinada. Dado que el número de veces al año que hay que hacer una determinada preparación es pequeña, las empresas no prestan atención en el momento de optimizarla ni gestionarla y dejan el proceso en manos de la experiencia de los operarios, que, como lo hacen poco, a menudo suelen incurrir en ineficiencias que los lleva a que el tiempo de preparación sea muy largo.

El primer paso para aplicar la metodología SMED es documentar detalladamente el proceso de preparación de la máquina. Una buena práctica es grabar en vídeo el trabajo de los operarios al prepararla y después examinar el vídeo. Al visionar el vídeo se van identificando cada una de las tareas necesarias para preparar la máquina. Hay editores de vídeo que permiten marcar el inicio y el final de cada tarea y, directamente, proporcionan el tiempo que ha tardado el operario en hacerla. Se pueden descartar directamente tareas redundantes, inútiles o repetitivas debidas a olvidos.

Una vez documentado el proceso de preparación, se identifican las precedencias de cada tarea y si pueden hacerse con la máquina parada. Luego se elabora un grafo y, respetando las precedencias, se reordenan las tareas de forma que las que se pueden hacer con la máquina en marcha estén todas juntas al inicio o al final.

A continuación se pueden aplicar técnicas de métodos y tiempos para optimizar los gestos y redefinir las duraciones de acuerdo con un nivel de actividad normal, en vez de lo que tenía el operario cuando se grabó el proceso.

Después se llevan a cabo las tres acciones específicas de la metodología: gestionar el transporte, elaborar listas de comprobación y crear listas de comprobaciones funcionales.

Finalmente se forma a los operarios y, cada vez que la máquina debe prepararse, se les suministran las hojas con las listas de comprobación y verificación funcionales. Si es necesario, se modifica la distribución en planta para poder mejorar el transporte.

1.1. Gestionar el transporte

Bajo el concepto de *gestionar el transporte* se trata de aplicar una idea básica: hacer los máximos movimientos con la máquina en marcha. La maniobra propuesta es:

- 1) Transportar los utillajes de la próxima pieza hasta el pie de máquina antes de que la máquina termine de hacer la pieza actual.
- 2) Cuando la máquina termina, desmontar el utillaje y dejarlo a pie de máquina. De momento no se transporta al taller de mantenimiento ni al almacén de utillajes.
- 3) Montar el nuevo utillaje.
- 4) Una vez puesta en marcha la máquina y mientras está elaborando piezas, se transporta el utillaje empleado en la anterior pieza hacia el almacén de utillajes o hacia el taller de mantenimiento.

El concepto es sencillo y intuitivo, pero en la práctica se encuentra con dos dificultades que hay que superar para poder aplicarlo.

En primer lugar es necesario que haya espacio a pie de máquina para dos utillajes (el que se debe montar y el que se acaba de sacar). Esto a menudo requiere una modificación de la distribución en planta del taller e incluso puede que haya más espacio para máquinas.

Además, hay que saber con antelación cuándo se acabará la pieza que se está haciendo y cuál será la que se hará después. Por ello, la empresa debe disponer de un programa de trabajo preparado de antemano. Muchas empresas se limitan a emitir las órdenes de trabajo en el taller y es el director de cada sección el que decide qué se hace después cuando una máquina para. Este sistema dificulta la posibilidad de programar los transportes de utillajes con suficiente anticipación y hay que cambiarlo.

1.2. Elaborar listas de comprobación

Las listas de comprobación para verificar que se han recogido todas las herramientas útiles e instrumentos de medida necesarios para preparar la máquina son una herramienta muy potente para evitar descuidos, pérdidas de tiempo y viajes inútiles al taller o al almacén cuando se está preparando la máquina.

La obtención de esta lista es un trabajo rutinario, consecuencia de haber documentado las tareas de las operaciones de preparación. Entonces se habilita un espacio para que los operarios vayan marcando lo que ya han recogido y, de esta manera, se asegura que no falta nada.

Tabla 1. Ejemplo de tabla de comprobación

Lista de comprobación para la pieza 02060: máquina MX400Tn					
	Nombre	Especificación	N.º	Dim.	Observaciones
0	U-32	Utillaje U-32	1	430 × 250	
1	P-D10	Pasador	4	10	Alinear con la placa inferior
2	U-Mart	Martillo	1	-	
3	C-371-12	Tornillo Rosca ISO	6	M12x40	
4	U-CD	Atornillador neumático	1	-	Atornillar (par 5,5 N-m)
5	U-CA	Llave inglesa	2	-	Solo si falla U-CR
6	U-G27	Galga	1	2	Comprobar separación entre placas
7	U-R30	Regla	1	-	Comprobar altura final
...					

Fuente: CIDEM (2004)

Si el almacén está organizado con ubicaciones estáticas, conviene que esta lista contenga, además, información de la ubicación de cada cosa y que refleje el orden de recogida para minimizar el camino recorrido. Si el almacén funciona con ubicaciones dinámicas, hay que tener acceso sencillo al *software* para facilitar la ubicación, de manera que el operario no pierda tiempo, e incluso para diseñarle una ruta de distancia mínima para recogerlas todas.

1.3. Crear listas de comprobaciones funcionales

Una vez montado un utillaje en la máquina, hay que fijar los parámetros de trabajo y comenzar a producir piezas verificando que salen bien. A menudo las piezas tienen defectos y se inicia un proceso de investigación para descubrir las causas de los defectos y corregirlos. Esto puede retrasar mucho el tiempo de preparación y, además, convertirlo en imprevisible, de forma que entorpece mucho la programación del trabajo.

Está claro que, si todo se hace igual que en anteriores ocasiones, los resultados serán los mismos y que si antes las piezas salían bien y ahora no, será porque algo se está haciendo de forma diferente.

Las listas de comprobación funcionales tratan de comprobar sistemáticamente que todos los parámetros que garantizan que las piezas salen bien se reproducen con precisión cada vez que se cambia el utillaje.

Algunos de estos parámetros corresponden a la operación de la máquina y se trata de verificarlos con una lista de comprobación como la de materiales: fuerza de cierre, presión de inyección, temperatura del agua de refrigeración, alineamientos, etc. Otros afectan a la funcionalidad del utillaje y se trata de disponer de un programa de mantenimiento preventivo de los utillajes y de revisarlos sistemáticamente antes de utilizarlos de nuevo.

Es muy difícil prever *a priori* todas las eventualidades que pueden hacer que las piezas no salgan correctas. La experiencia en otros casos permite obtener unas listas de comprobaciones funcionales que tienen en cuenta la mayoría

de las eventualidades. Pero estas listas son un elemento dinámico y vivo de la metodología SMED y se tienen que ir enriqueciendo. Cada vez que aparece un problema imprevisto se investigan sus causas, se resuelven y se añaden a las listas de comprobación y de mantenimiento las acciones necesarias para prevenirlo en el futuro.

2. Convertir operaciones de preparación improductivas en productivas

En la primera fase ya se ha hecho un análisis detallado del proceso de preparación de la máquina, se han identificado las acciones que se pueden efectuar con la máquina en marcha y se ha gestionado el proceso de forma que las acciones que se pueden realizar con la máquina en marcha se hagan antes de detenerse o después de haberse puesto en marcha de nuevo, de manera que el tiempo de máquina parada se vea reducido al mínimo.

Pero hay acciones que no se pueden llevar a cabo con la máquina en marcha por motivos técnicos. En esta segunda fase se trata de invertir en equipamientos y crear soluciones para superar las limitaciones técnicas que impedían efectuar algunas tareas con la máquina en marcha.

Las tareas y los motivos que dificultan su realización con la máquina en marcha son muy dependientes y típicos de cada proceso de fabricación. Como existe un interés industrial grande en reducir el tiempo de máquina parada, los proveedores de equipamiento de máquina-herramienta han hallado en esta cuestión una oportunidad de negocio y ofrecen opciones y complementos de las máquinas que permiten realizar algunas de estas tareas con la máquina en marcha. Por eso, en esta etapa el primer paso es explorar qué encontramos en el mercado; raramente hay que desarrollar tecnología a medida.

Seguidamente, se comentan elementos disponibles para algunos de los procesos de fabricación.

2.1. Cambio de matrices en las prensas

Las matrices están compuestas de dos partes. La parte inferior debe sujetarse a la mesa de la prensa y la parte superior, al *chariot*. La mesa es un elemento fijo en la bancada que no tiene movimiento durante la fabricación de las piezas. El tiempo necesario para fijar la parte inferior de la matriz a la mesa requiere normalmente que la prensa esté parada, pero, al ser un elemento estático, se puede diseñar la prensa de forma que la mesa sea un elemento intercambiable con anclajes de precisión. De este modo, disponiendo de dos mesas, mientras la prensa trabaja se puede fijar la parte inferior de la siguiente matriz a una mesa externa; cuando la prensa acaba, se cambia la mesa con la matriz anterior por la mesa con la matriz de la próxima pieza, y solo cuando la prensa ya vuelve a trabajar se quita la parte inferior de la matriz de la mesa.

Tabla 2. Operaciones que se realizan para cambiar una matriz

	Método tradicional	Método aplicando SMED

Preparación productiva	1.º Llevar la nueva matriz al lado de la prensa desde el almacén.	1.º Llevar la nueva matriz y ponerla encima de la mesa inferior móvil. 2.º Fijar la nueva matriz a la mesa inferior móvil.
Preparación improductiva	2.º Liberar y extraer la matriz actual de la prensa. 3.º Colocar y fijar la nueva matriz a la prensa. 4.º Ajustar la prensa.	3.º Liberar la matriz actual de la parte superior de la prensa. 4.º Cambiar la mesa inferior móvil de la prensa. 5.º Fijar la matriz nueva a la parte superior de la prensa. 6.º Ajustar la prensa.
Preparación productiva	5.º Llevar la matriz extraída al almacén.	7.º Liberar la matriz extraída de la prensa inferior móvil. 8.º Llevar la matriz extraída al almacén.

Fuente: CIDEM 2004

2.2. Cambio de moldes en máquinas de inyección de plástico

Los moldes de inyección de plástico inicialmente están a temperatura ambiente. Cuando el plástico se inyecta en ellos, a una temperatura ligeramente superior a la de fusión, se genera un gradiente de temperaturas hasta los canales de refrigeración para evacuar el calor del plástico y provocar que se solidifique y poder abrir el molde. Una vez el molde está trabajando, logra una distribución estable de temperaturas. Al variar las temperaturas se modifican las propiedades físicas del plástico, como la viscosidad y las dimensiones de los aceros de los que está hecho el molde. Los moldes se diseñan y se ponen a punto para que las piezas salgan con buena calidad, con un tiempo de ciclo lo más reducido posible y con el molde a temperatura de régimen permanente. A menudo, esto implica que hasta que no se alcanza este régimen permanente las piezas obtenidas sean defectuosas. Por lo tanto, dentro del proceso de cambio de molde existe la fase de inyectar piezas que serán defectuosas y que se deberán reciclar o descartar hasta que empiecen a salir piezas buenas.

Como este problema es general, en el mercado hay unidades de precalentamiento de moldes que aportan energía al molde con el fin de acercarlo a la temperatura de régimen. Además, las máquinas de inyección pueden hacer circular agua caliente por los canales de refrigeración para contribuir a lograr, también, una temperatura más próxima a la de régimen cuanto antes. Combinando estas dos estrategias se puede reducir mucho el tiempo durante el cual la máquina no está produciendo piezas buenas y también el número de piezas defectuosas producidas en el proceso de cambio.

Tabla 3. Operaciones que se realizan para calentar un molde

	Método tradicional	Método aplicando SMED
Preparación productiva	1.º Colocar el molde al lado de la máquina de inyectar.	1.º Colocar el molde al lado de la máquina de inyectar. 2.º Calentar el molde mediante cualquier tipo de energía calorífica.

Preparación im-productiva	2.º Colocar el molde en la máquina de inyectar. 3.º Calentar el molde mediante la inyección de piezas (defectuosas).	3.º Colocar el molde en la máquina de inyectar. 4.º Terminar de calentar el molde mediante la circulación de agua caliente.
---------------------------	---	--

2.3. Cambio de utillajes de sujeción en centros de mecanizado

Los centros de mecanizado a menudo trabajan sobre piezas en bruto normalizadas que presentan caras planas paralelas, que permiten cogerlas con mordazas universales o sujetarlas con bridas directamente encima de la mesa. Cuando trabajan a partir de piezas cilíndricas también cuentan con platos divisores que permiten coger cualquier pieza cilíndrica dentro de unos límites de diámetros mínimos y máximos. Pero en algunas industrias existe la necesidad de fabricar piezas que tienen caras curvas por todas partes; en este caso, no hay más remedio que fabricar utillajes de sujeción. Estos utillajes reproducen la forma de la pieza en su interior y presentan formas adecuadas para ser sujetados a la mesa de la máquina en el exterior. La manera de sujetar la pieza puede basarse en el vacío o con elementos móviles que la mantienen fijada. En cualquier caso, el utillaje puede necesitar conectarse con la máquina para recibir aire comprimido o energía hidráulica, etc. Entonces, para cambiar y fabricar una pieza diferente, es necesario sustituir el utillaje de la mesa por el correspondiente centrado y conexionado. También hay que cambiar el utillaje cuando se pasa de trabajar con piezas prismáticas a piezas cilíndricas, o viceversa.

Para hacer esto sin la necesidad de que la máquina esté parada, existen centros de mecanizado con cambio automático de mesa. Entonces, mientras la máquina está fabricando piezas utilizando el utillaje de sujeción que está montado en la mesa interior, se puede ir fijando a la mesa exterior el utillaje requerido para la próxima pieza o lote de piezas. Una vez realizado el cambio solo hay que efectuar el cambio automático de las mesas.

Tabla 4. Operaciones que se realizan para cambiar un utillaje en un centro de mecanizado

	Método tradicional	Método aplicando SMED
Preparación productiva	1.º Llevar el nuevo utillaje al centro de mecanización.	1.º Llevar el nuevo utillaje al centro de mecanización. 2.º Fijar el nuevo utillaje al portaútiles exterior.
Preparación im-productiva	2.º Liberar y extraer el utillaje actual. 3.º Colocar y fijar el nuevo utillaje. 4.º Ajustar el centro de mecanización.	3.º Cambiar el portaútiles exterior por el interior mediante el giro automático. 4.º Ajustar el centro de mecanización.
Preparación productiva	5.º Llevar el utillaje extraído al almacén.	5.º Liberar el utillaje del portaútiles extraído. 6.º Llevar el utillaje liberado al almacén.

2.4. Reglaje de herramientas en máquinas de control numérico

La preparación de las máquinas de control numérico para cambiar de pieza implica garantizar que el almacén de herramientas tiene el juego de herramientas necesario para efectuar todas las operaciones de la siguiente pieza. Además, a medida que las herramientas se gastan también es necesario cambiarlas por herramientas nuevas. Cada vez que se pone una herramienta en una máquina hay que determinar los correctores de la herramienta (véase el texto sobre conceptos previos a la programación de las máquinas de control numérico). Esta operación puede ser más o menos automatizada, en función de si la máquina tiene o no sensores que le permiten detectar la posición relativa de la punta de la herramienta y el carro portaherramientas. En cualquier caso, el tiempo para determinar los correctores de la herramienta es un tiempo durante el cual la máquina no está fabricando piezas.

Para poder hacer esta operación fuera de la máquina existen en el mercado equipos de prerreglaje de herramientas que presentan una sujeción del mango de la herramienta que reproduce la de la máquina; mediante un proyector de perfiles y unos tornillos micrométricos, se puede determinar con muy alta precisión la posición de la punta de la herramienta. Esta información se puede grabar en el mismo portaherramientas, en un chip de memoria, o se puede trasladar a la máquina por otros medios. Empleando estos equipos el tiempo dedicado a esta operación pasa a ser tiempo productivo.

3. Mejorar todas las operaciones de preparación

Cuando el cambio de utillajes está gestionado y los sistemas para transformar en productivo el tiempo improductivo que sea posible están aplicados, el siguiente paso es reducir al máximo el tiempo necesario para todas las operaciones de cambio, ya sean productivas o improductivas.

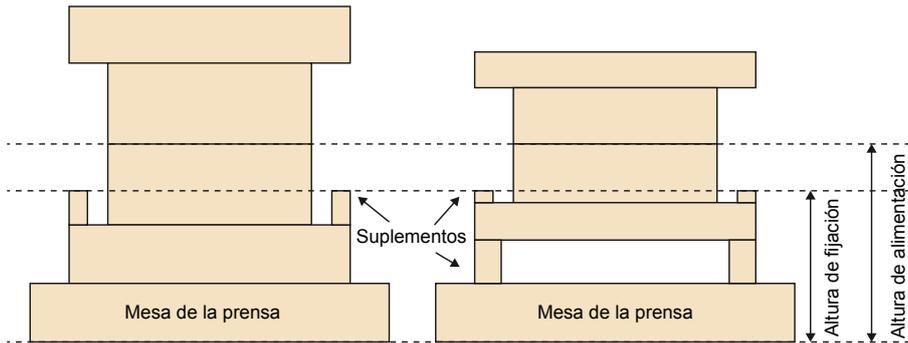
Esto se lleva a cabo aplicando sucesivamente cinco métodos: estandarización de funciones, trabajo en paralelo, aplicación de sistemas rápidos de anclaje, reducción del tiempo de reglajes y, finalmente, uso de automatismos.

3.1. Estandarización de funciones

Algunos parámetros de los utillajes se pueden elegir libremente y, si no se especifica nada, los fabricantes buscan minimizar el consumo de material y costes, pero esto acaba resultando en que no hay dos utillajes iguales en nada. Una vía para reducir mucho los tiempos de preparación de máquinas es estandarizar las dimensiones y características que condicionan la interacción del utillaje con la máquina y los elementos auxiliares.

Por ejemplo, en el caso de matrices de estampación de chapa existen dos parámetros que condicionan la relación entre la matriz, la prensa y el alimentador de chapa. Por un lado, la matriz se coloca encima de la mesa de la prensa y se atornilla con bridas, que la presionan contra la mesa. Si la superficie de sujeción está en todas las matrices al mismo nivel, cuando se saca una matriz y se monta otra no hay que cambiar bridas ni atornillar tornillos para ir a buscar el nuevo nivel de fijación. El plan de partición también condiciona la relación entre la matriz y el alimentador de chapa. Si cada matriz presenta un plan de partición a un nivel diferente, cada vez que se cambia la matriz hay que regular la nueva altura en el alimentador. Si se estandarizan estas alturas, al principio solo hay que hacer una inversión para realizar pequeñas modificaciones en todas las matrices en *stock* para que se adapten al estándar, pero, una vez establecido, el coste adicional de realizar una matriz nueva puede ser despreciable. La forma de conseguir que matrices para piezas diferentes –y, por tanto, de medidas diferentes– presenten las superficies de sujeción y de partición al mismo nivel se basa en meter unas alzas que compensen la diferencia de tamaño entre las más grandes y las más pequeñas que pueden caber en la prensa. En la figura 2 se ilustra esta idea.

Figura 2. Estandarización de la altura de fijación y de alimentación de matrices

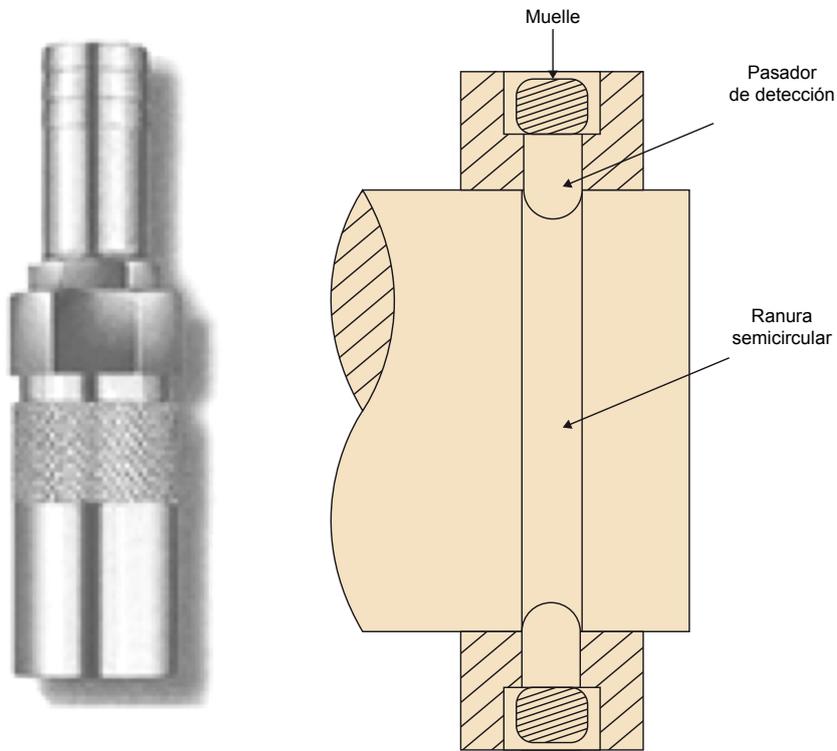


Fuente: CIDEM (2004)

En el caso de los moldes de inyección de plástico hay numerosas conexiones entre el molde y la máquina de inyección: desde agua de refrigeración hasta aire comprimido, aceite a presión, energía eléctrica o señales de sensores. A menudo cada molde tiene estas conexiones, basadas en conductas independientes y un manual con las indicaciones que pueden llevar a confusiones y descuidos, aparte del trabajo de ir haciendo las conexiones una por una. La idea de definir un *rack* de conexiones único con todas las posibilidades –y que cada molde use solo las necesarias– y que, además, estas conexiones dispongan de sistemas de conexión rápida reduce al mínimo el tiempo de conexión y casi elimina las posibilidades de error. Al igual que en el caso anterior, al principio hay una inversión para añadir el *rack* de conexiones a los moldes existentes, pero luego los moldes que se encarguen de nuevo prácticamente no producen mucho incremento de coste.

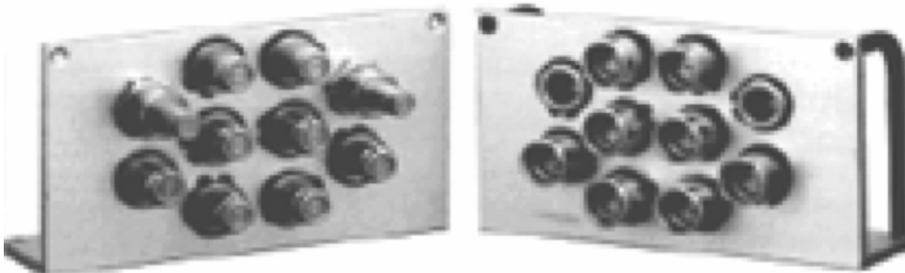
En la figuras 3 y 4 se ilustra este concepto.

Figura 3. Acoplamiento para moldes y matrices (izquierda). Sistema de fijación mediante la elasticidad de unos muelles (derecha).



Fuente: CIDEM (2004)

Figura 4. Multiacoplamientos



Fuente: CIDEM (2004)

3.2. Trabajo en paralelo

El siguiente método para reducir el tiempo de parada de una máquina es hacer que varios operarios actúen en paralelo sobre la misma máquina para acabar antes las operaciones de cambio.

El problema que conlleva esto es que si los operarios se interfieren entre ellos pueden acabar tardando más, o no ahorrando mucho. La técnica para conseguir el resultado deseado consiste en identificar las tareas con sus precedencias e interferencias. Una base de partida es el análisis hecho en la primera etapa de la metodología, cuando se ha documentado todo el proceso de cambio de utillaje. Se trata de agrupar las tareas en dos o más conjuntos, de forma que las tareas de cada conjunto:

- 1) duren aproximadamente lo mismo.
- 2) no sufran interferencias con las de otros conjuntos, si se llevan a cabo simultáneamente.
- 3) puedan hacer que las precedencias de cada tarea se han obtenido antes de llegar a realizar dicha tarea.

Una forma práctica de alcanzarlo es representando en un grafo las precedencias y en otro las interferencias, e ir jugando con agrupaciones de tareas en las que se respeten las restricciones mencionadas y en las que la duración se mantenga.

El resultado final debe ser una tabla que recoja las tareas de cada grupo, que son las que se asignarán a cada operario del equipo de trabajo. Un ejemplo podría ser la tabla 5.

Tabla 5. Operaciones en paralelo para cambiar el utillaje de una prensa

Tarea	Tiempo (s)	Recurso 1	Recurso 2
1	15	Bajar la corredera hasta el punto muerto inferior.	Prepararse para retirar los pernos de atrás.
2	20	Retirar los pernos de montaje delanteros que fijan el utillaje superior.	Retirar los pernos de montaje traseros que fijan el utillaje superior.
3	30	Elevar la corredera hasta el punto muerto superior.	Desconectar el conmutador de la prensa.
4	20	Retirar las fijaciones de montaje de la mesa.	Aflojar los pernos de montaje que fijan el utillaje interior.
5	60	Mover los soportes de la mesa.	Retirar los pernos de montaje.
6	20	Enganchar cable para el transporte del utillaje.	Enganchar cable para el transporte del utillaje.
7	20	Elevador	Mover el utillaje para el montaje.
8	30	Posicionar el utillaje.	Posicionar el utillaje.
...			

El hecho de tener un equipo de varios operarios llevando a cabo el cambio de utillaje (antes lo efectuaba solamente uno) puede parecer que es invertir más en el tiempo-hombre para reducir el tiempo-máquina. Esto es una falacia, puesto que el tiempo-hombre es el mismo. Lo que se consigue es que el tiempo

de máquina parada se divide entre el número de operarios. Una forma de verlo claro es que si hubiera tres operarios que prepararan tres máquinas y tardaran tres horas cada uno, las tres máquinas estarían paradas durante las tres horas y tres operarios ocupados durante tres horas. Si los tres operarios preparan sucesivamente cada una de las máquinas y se ha conseguido paralelizar el proceso de forma que cada uno realiza tareas de una hora, cada máquina se prepara en una hora. Los tres operarios siguen estando ocupados durante tres horas en total, pero las máquinas solo están paradas una hora en cada caso.

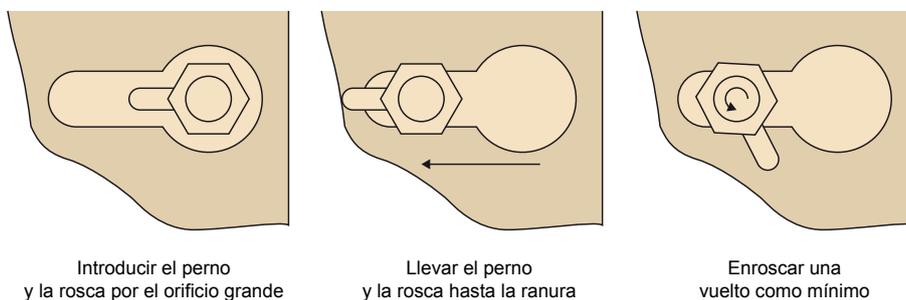
3.3. Aplicación de sistemas rápidos de anclajes

Un denominador común de cualquier cambio de utillaje es la función de anclar el utillaje a la máquina. Tradicionalmente las máquinas presentan una mesa lleno de ranuras en T o en ala de mosca. El utillaje se coloca encima de la mesa y se meten tornillos con volanderas por las ranuras y se aprietan con tuercas para mantener el utillaje presionado con fuerza contra la mesa de la máquina.

Un primer cambio para reducir el tiempo necesario es escoger tornillos que faciliten la entrada rápida de la tuerca como se describe en la figura 6.

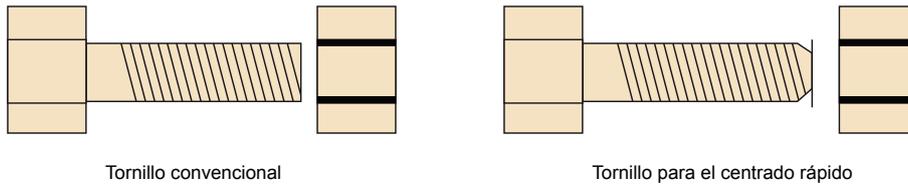
Otra posibilidad es observar que solo la última fracción de giro de la última vuelta de la tuerca es la que de verdad hace la función de fuerza sobre el utillaje, las otras vueltas sólo son para aproximar la tuerca. Se pueden buscar soluciones en las que no sea necesario sacar la tuerca del tornillo con agujeros en el utillaje con forma como la de la Figura 6. Si esto se combina con la estandarización del espesor de la chapa por donde se atornilla el utillaje, no hay más que un cuarto de vuelta para aflojar el anterior utillaje, meter el nuevo, hacer un desplazamiento horizontal y entonces un cuarto de vuelta para apretarlo (Figura 5).

Figura 5. Sistema de anclaje con forma de pera



Fuente: CIDEM (2004)

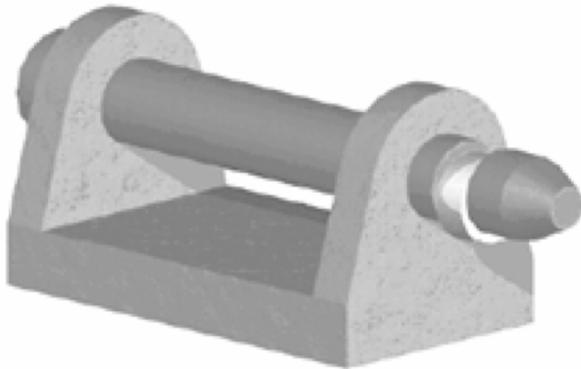
Figura 6. Dos posibles tornillos, uno convencional y otro para el centrado rápido



Fuente: CIDEM (2004)

También se puede recurrir a sistemas autoblocantes, que aseguran que el utillaje no va a salirse de sitio, de modo que el operario no deberá hacer ningún gesto. En la figura 7 se ilustra este concepto.

Figura 7. Representación de una posible utilización de un pasador que se autobloquea

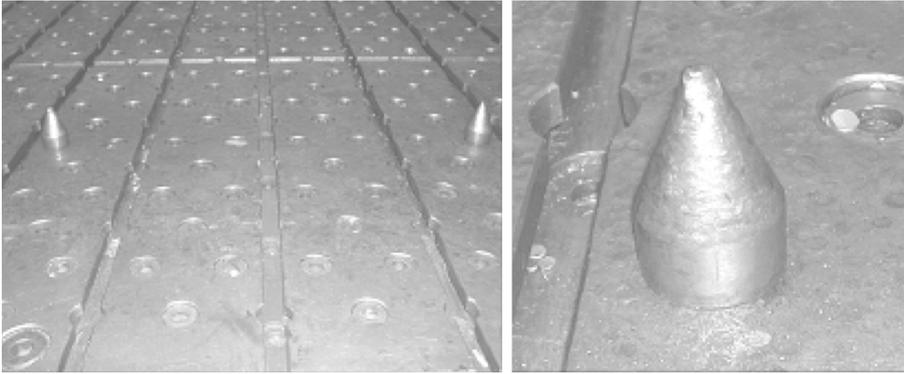


Fuente: CIDEM (2004)

3.4. Reducción del tiempo de reglajes

Una de las tareas que puede llevar bastante tiempo es la de ajustar la posición del utillaje respecto a la máquina. Los utillajes pueden pesar toneladas y la posición relativa a la máquina puede ser crítica para garantizar un buen funcionamiento. Posicionar sobre una mesa horizontal con precisión de décima de milímetro un utillaje que pesa toneladas es un proceso lento de prueba y error. Una solución práctica que reduce mucho el tiempo de estos ajustes consiste en disponer de agujeros cónicos en la mesa de elementos cónicos y en la base del utillaje, de forma que, al depositar el utillaje sobre la mesa, los conos encajen y conduzcan el utillaje hasta hallar la posición relativa a la máquina correcta y con la precisión necesaria. En la figura 8 se ilustra este concepto.

Figura 8. Ejemplo de centradores en las mesas de la prensa

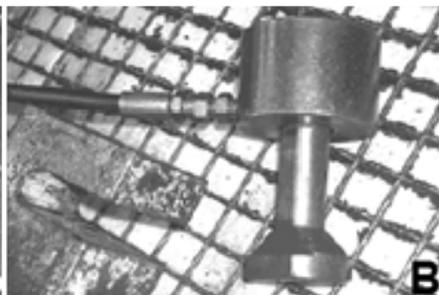
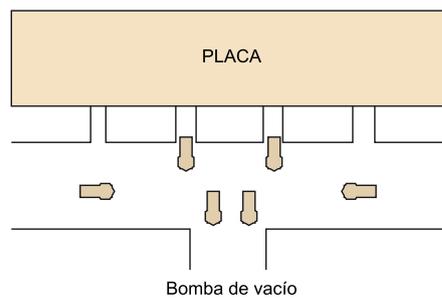


Fuente: CIDEM (2004)

3.5. Uso de automatismos

Tradicionalmente se ha prestado poca atención a la preparación de las máquinas y, por eso, se han encontrado soluciones funcionales sin buscar la productividad. Es muy habitual hallar sistemas de sujeción mecánicos basados en un accionamiento manual. De hecho, solo se automatizaban las acciones repetitivas sencillas y frecuentes. Dado que la preparación de las máquinas era una acción compleja que se realizaba con poca frecuencia, no era candidata a los proyectos de automatización. El último paso de la metodología consiste en examinar sistemáticamente todas las tareas de preparación y explorar la posibilidad de aplicar elementos automáticos a cada una. En las figuras 9a y 9b se muestra, por ejemplo, la aplicación de elementos automáticos para la fijación a la mesa.

Figura 9a y b. Sistema de fijación por mesa de vacío (figura 9a, arriba). Sistema clásico (A) e hidráulico (B) de fijación de la matriz a las guías de la prensa (figura 9b, abajo).



Fuente: CIDEM

Bibliografia

CIDEM (2004). *Canvi ràpid d'utilitatges (SMED). Guia de suport a la innovació. Eines de progrés.* Departament d'Indústria i Treball. Generalitat de Catalunya.

