

## PARTE 2. APLICACIÓN DEL SMED EN CENTROS DE MECANIZADO.

### 4. Información básica sobre centros de mecanizado CNC.

#### 4.1. Antecedentes históricos del CNC.

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora.

Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina.

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: centro de mecanizados, rectificadoras, electro-erosionadoras, máquinas de coser, etc.

| Año  | DESARROLLO   |
|------|--|
| 1957 | Entra en funcionamiento la primera máquina herramienta controlada numéricamente, una Cincinnati Hydrotel con husillo vertical.                 |
| 1960 | Fabricantes alemanes presentan su primera máquina de Control Numérico en la feria de Hannover.   |
| 1965 | Aparecieron los primeros cambiadores automáticos de herramientas. El control se encargaba del ritmo de los procesos de cambio.                 |
| 1970 | Se presentan en el mercado los primeros controles de CNC.  |
| 1979 | Se realiza un empleo intenso de estaciones externas de programación. La máquina de CNC se engloba en una red interconectada con un computador. |
| 1985 | Aparecen controles de CNC con entrada de programas gráficos interactivos (CAD-CAM)   |

Tabla 5: Breve desarrollo de la tecnología CNC.

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto que no es una exageración decir que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial.

Gracias a la utilización de la máquina herramienta se ha podido realizar de forma práctica, maquinaria de todo tipo que, aunque concebida y realizada, no podía ser comercializada por no existir medios adecuados para su construcción industrial.

Así, por ejemplo, si para la mecanización total de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, mandrinado y perforado, es lógico que se alcanzaría la mayor eficacia si este grupo de máquinas herramientas estuvieran agrupadas, pero se lograría una mayor eficacia aún si todas estas operaciones se realizaran en una misma máquina. Esta necesidad, forzó la utilización de nuevas técnicas que reemplazaran al operador humano.



De esta forma se introdujo el control numérico en los procesos de fabricación, impuesto por varias razones:

- Necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
- Necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
- Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de productividad. Posteriormente, aparecieron otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

| CONCEPTO | SIGNIFICADO  |
|----------|--|
| NC       | “Numerical Control” o “Control Numérico”, es decir, control mediante números. Con ayuda de los datos introducidos como combinaciones de números, el NC controla una máquina herramienta.   |
| CNC      | “Computer Numerical Control” o “Control Numérico Computarizado”, es el mismo NC que se amplía además con un módulo “inteligente”. El CNC con los datos introducidos, puede realizar, además, cálculos, con cuyos resultados se controla a continuación la máquina herramienta.   |
| CAE      | “Computer Aided Engineering” o Cálculo Asistido por Computadora.   |
| CAD      | “Computer Aided Design” o “Diseño Asistido por Computadora”  |
| CAM      | “Computer Aided Manufacturing” o “Manufactura Asistida por Computador”   |
| CIM      | “Computer Integrated Manufacturing” o “Manufactura Integrada por computador Interconectado”. Desde el diseño, pasando por el proyecto y la planificación, la preparación del trabajo y el suministro del material, hasta la fabricación, se unen todos los departamentos de una empresa en una interconexión de datos integrada. |
| DNC      | “Direct Numerical Control” o “Control Numérico Directo”, administración y distribución de programas de CNC. Es el puente entre el puesto de trabajo de CAM y la máquina de CNC.  |

Tabla 6: Conceptos empleados.

#### 4.2. Funcionamiento de un centro de mecanizado CNC.

El mecanizado de una pieza en una máquina de CNC en principio es igual que en una fresadora convencional manual. Con la diferencia de que una serie de tareas que en la forma de trabajo convencional las ha de efectuar el operario, aquí las ejecuta el control numérico computarizado. Para ello antes del comienzo del mecanizado se programa la máquina con todas las instrucciones para ejecutar el trabajo. Durante la fabricación de la pieza, el control toma paso



a paso las instrucciones programadas y las ejecuta. Para ello está en contacto con los diferentes componentes de la fresadora a través de sensores y actuadores de los cuales recibe datos y además le envía órdenes respectivamente.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles.

En los ejes de los carros longitudinal, transversal y vertical hay montados motores de avance, que transforma el movimiento de giro del motor en movimiento longitudinal del carro por medio de husillo y tuerca. Con el fin de desplazar la herramienta (carro vertical) o la pieza (carros longitudinal y transversal), el control emite las señales eléctricas correspondientes.

Estas señales que son de control son de muy baja potencia por lo que previamente son amplificadas en un amplificador del accionamiento y se transmiten al motor de avance correspondiente, el cual entonces mueve el eje y con ello el carro. La velocidad y la dirección del movimiento la debe conocer el control. La forma en que el control sabe cuánto se ha desplazado la herramienta, lo hace a través de sistemas de medición del recorrido que se encuentran en todos los carros de los ejes. Estos sistemas transmiten señales eléctricas al control durante el movimiento de desplazamiento, a partir de las cuales el control calcula el camino recorrido y lo que falta por recorrer.

- **Circuito de Regulación de la Posición**

Este es un circuito cerrado integrado por un equipo de medición, la unidad de comparación (control) y el motor. El control compara el valor de la posición real que entrega el equipo de medición con los valores nominales programados y da las órdenes al motor para el desplazamiento correspondiente. La precisión de giro del eje del motor puede ser de milésimas de grado en un tiempo muy breve, con lo que se logran desplazamientos longitudinales de milésimas de milímetro. De este modo la regulación de la posición con tal se utiliza también para inmovilizar un carro sin bloqueo mecánico.

- **Circuito de Regulación de la Velocidad**

El control de acuerdo con la velocidad de avance programada, da una señal digital al motor de avance. Para la medición de la velocidad se encuentra en cada motor de avance un tacogenerador, que comunica la velocidad de giro actual al control que la compara con la velocidad de avance programada. Como resultado de esta comparación emite la señal correspondiente al amplificador y éste el motor de avance para que gire más rápido o más lento según corresponda.

- **El Control CNC**

El control es el cerebro de la máquina todas las operaciones que son necesarias para el mecanizado de una pieza. Del control salen las órdenes a los motores de avance para el desplazamiento de la pieza y de la herramienta. En caso de contornos complicados coordina y sincroniza los movimientos relativos de los diferentes carros, de modo que se mantenga el recorrido



prescrito. El control de órdenes para la conexión y desconexión del husillo, del refrigerante, del bloqueo de los ejes de los carros, etc. Controla los dispositivos de cambio de herramientas y de paletas. También almacena programas y los archivos de datos correspondientes a herramientas, punto cero, etc. En su memoria para programas. Por medio de la pantalla y del teclado se comunica el control con el operario.

#### **4.3. Elementos constitutivos principales de un centro de mecanizado CNC**

##### *Controlador de Interface.*

Se encuentra ubicado en el armario de conexiones, se utiliza para proporcionar los requerimientos de potencias eléctricas elevadas necesarias para muchas de las funciones de la máquina y que el control mismo no puede entregar. Las conexiones las realiza a través de contactores.

##### *Armario de Conexiones.*

Además del controlador de interface, están montados otros componentes como transformadores de la red, fusibles y también los amplificadores de los accionamientos.

##### *Tacogeneradores.*

Los tacogeneradores montados en los motores de avance, miden la velocidad de giro de éstos y emiten la señal al sistema de control.

##### *Sistema de Medición del Recorrido:*

Cada carro de los ejes principales está equipado con un sistema de medición del recorrido, los que comunican los movimientos de los ejes al control con precisiones de avance longitudinal de 0,001 [mm] o de 0,001° de giro.

##### *Accionamiento del Avance:*

Cada eje de carro y husillo principal está provisto de su propio motor, por lo que se pueden mover simultáneamente. Cada motor posee un amplificador del movimiento ubicados en el armario de conexiones. El amplificador suministra la potencia eléctrica necesaria para que el motor arranque sin retardos. Los motores están contruidos para ambos sentidos de giro y trabajan dentro de una gama de velocidades de giro sin escalones.

##### *Husillos de Bolas Recirculantes.*

Se emplean en los ejes de accionamiento de los carros y husillo principal en donde se requiere alta precisión. Esto se debe a que son sistemas exentos de holgura y con poco rozamiento. Consta de un husillo y una tuerca dividida en Dos, que en vez de filete o hilo macizo poseen una canal helicoidal por donde recirculan las bolas que hacen la función del filete. La holgura se minimiza haciendo la tuerca dividida en dos, de tal forma que se compensa la holgura de las bolas.

##### *Cambio de Velocidades.*

El cambio de velocidades tiene dos escalones de cambio. El cambio desde una a otra velocidad lo efectúan motores eléctricos. En el motor de accionamiento



principal se ajusta una velocidad de giro según la velocidad de giro del husillo programada y según el escalón de cambio.

*Cambiador automático de herramientas.*

Aloja en su almacén herramientas diferentes. Para todas las herramientas el control almacena los datos de corrección de la herramienta.

*Cambiador de paletas automático.*

Sujeta una pieza en bruto mientras la máquina mecaniza otra. Tan pronto como una pieza está acabada, se cambian las paletas y comienza de nuevo la ejecución del programa.

#### **4.4. Breve introducción al CAD/CAM.**

CAD/CAM, proceso en el cual se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión o a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el centro de mecanizado y la forma de cada componente, almacenados como dibujos bi-tridimensionales. Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo.

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (CAM, acrónimo de Computer Aided Manufacturing).

La Manufactura Asistida por Computadora ofrece significativas ventajas. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearán con menos frecuencia. Frente a este ahorro pueden aducirse los mayores costes de bienes de capital o las posibles implicaciones sociales de mantener la productividad con una reducción de la fuerza de trabajo.

La Manufactura Integrada por Computadora (CIM, Computer Integrated Manufacturing) aprovecha plenamente el potencial de esta tecnología al combinar una amplia gama de actividades asistidas por ordenador, que pueden incluir el control de existencias, el cálculo de costes de materiales y el control total de cada proceso de producción. Esto ofrece una mayor flexibilidad al fabricante, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos.





#### 4.5. Descripción de las máquinas a trabajar con SMED.

Centro de mecanizado vertical YCM – VMC 1100 A – (YEONG CHIN MACHINERY - VERTICAL MACHINING CENTER).



Foto 2.1: Centro de mecanizado vertical YCM VCM 1100 A

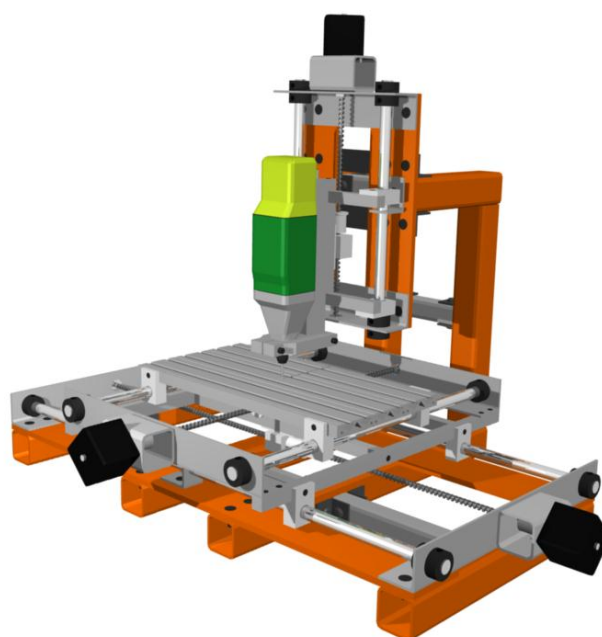


Figura 2.1: Esquema representativo de mecanismo principal en centro de mecanizado vertical (no específicamente de máquina YCM VCM 1100 A)



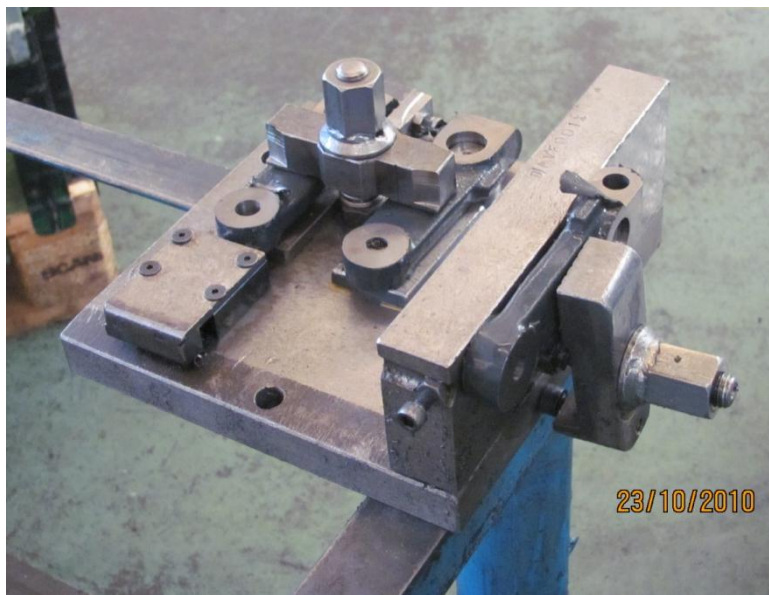
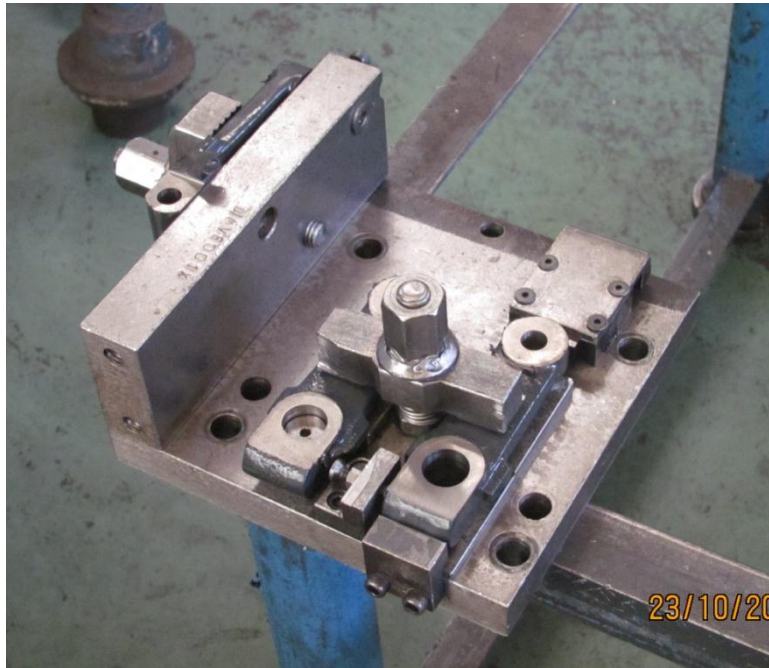


Figura 2.3 y 2.4: pieza biela 1148 y dispositivo de trabajo.

Se trata de un dispositivo de 3 posiciones y la pieza se obtiene con 5 herramientas (1 fresa + 2 escareadores + 2 mechas).



## Centro de mecanizado horizontal Mori Seiki SH - 50.



Foto 2.5: Centro de mecanizado horizontal Mori Seiki SH 50.

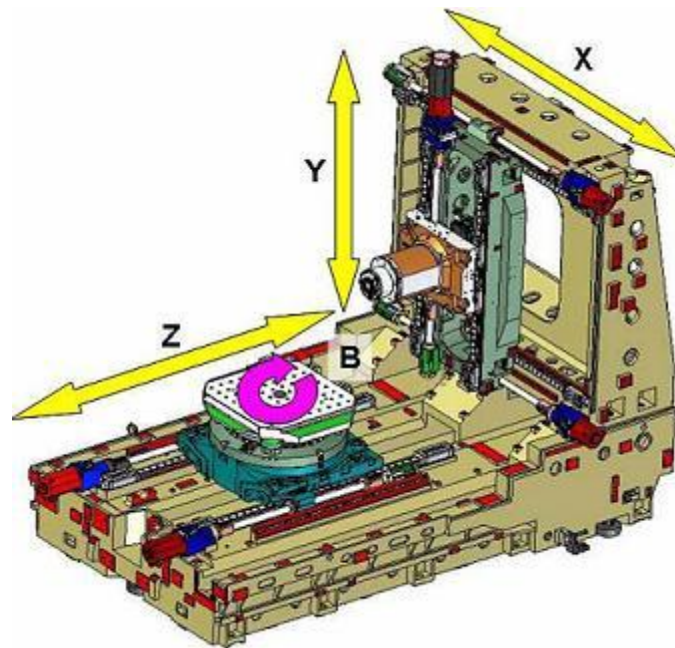


Figura 2.2: Esquema de mecanismo principal en centro de mecanizado Mori Seiki

## 5. Fases de aplicación del SMED

Para el desarrollo del SMED dentro de la empresa se emplean las siguientes 3 fases, de las cuales sólo se participa con Degiorgis la 2da y 3ra. Estas fases son del tipo estratégicos en cuanto a la implementación, y no tienen relación directa con las fases del método SMED desarrollado por Shingo.

Dentro de este esquema, las fases del método de Shingo que en este trabajo se emplean, estarían comprendidas dentro de las fases 2 y 3 de este esquema general.





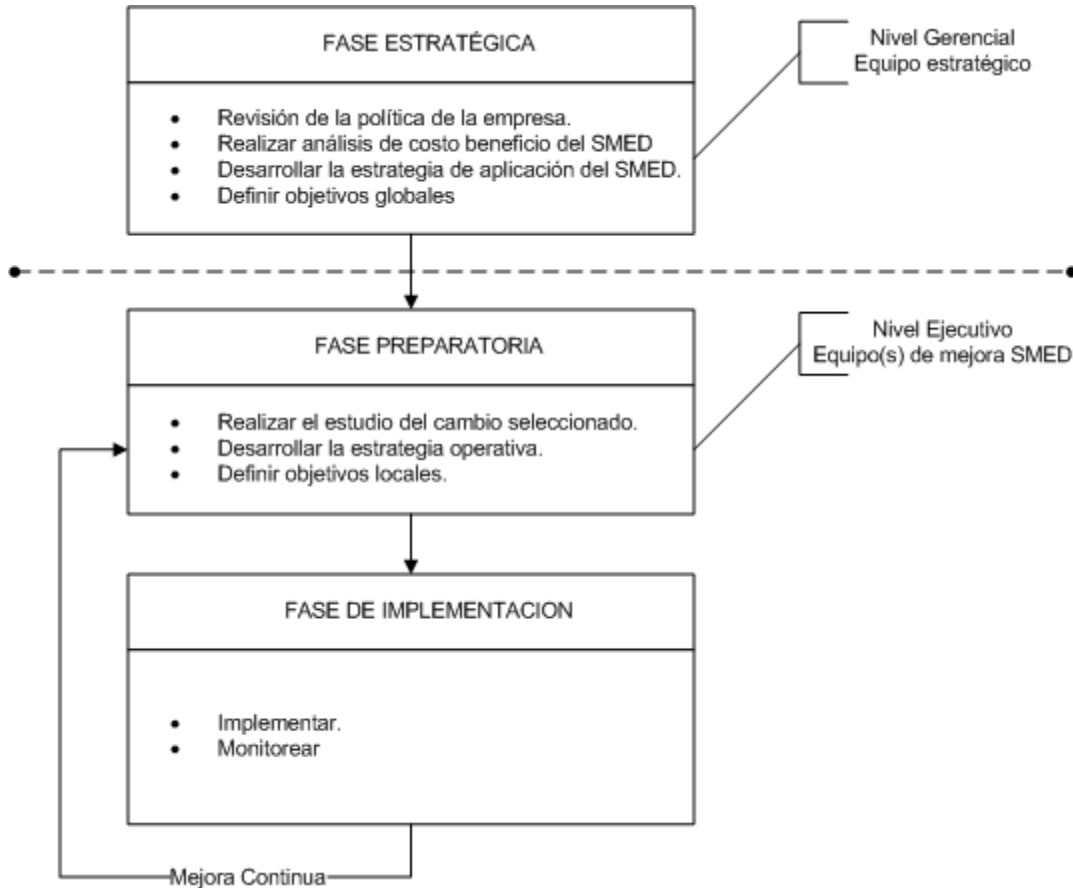


Grafico 10: fases recomendadas para la implementación de la metodología SMED (Mc Intosh, Culley)

Como elemento importante de este esquema general, es la consideración de la mejora continua como elemento de la aplicación del SMED.

Conceptualmente, la mejora continua debería continuar hasta alcanzar los objetivos de la empresa con respecto a la disminución de los cambios de serie. Aunque como concepto, la mejora continua no debiera desaparecer nunca.

Aunque la etapa estratégica y el monitoreo, quedan fuera del alcance de este trabajo, es importante de considerar este esquema integrador de modo completo, la mejora continua es la clave del mantenimiento de este sistema como un componente “vivo” dentro de la gestión de la organización como un todo, dada la dificultad de las empresas en enfocarse en la performance de los cambios de serie.

### 5.1. Plan del trabajo

Para intentar consolidar correctamente y con éxito el proyecto SMED en Degiorgis, que forman parte de la fase preparatoria y de implementación, se desarrollaron las siguientes pautas que a continuación se presentan:

#### Constitución del equipo de trabajo.

El equipo deberá estar constituido por varias personas, entre las que se destacan:



1. Una persona con conocimiento en el método SMED, en la reducción de tiempos de cambio para que lidere el proyecto en base a su experiencia. En este caso, rol desempeñado por un Ing. Consultor, mientras que quien escribe este proyecto participaba como soporte del mismo, y aprendiz del método.
2. Una persona que tenga un elevado conocimiento de la máquina y de los trabajos que en ella se realizan para los cambios de serie. Podría tratarse del operador o de un encargado, en su defecto.
3. Suele ser bastante importante, sobre todo en la fase de optimización, contar con personal de mantenimiento.
4. Es también recomendado incorporar al grupo un especialista en Seguridad e Higiene para evitar generar procesos o conceptos que atenten contra la seguridad en el trabajo.
5. Finalmente, contar con el responsable de producción o de mejora continua será fundamental para alcanzar los objetivos.

### **Formación en la filosofía y técnicas del cambio rápido.**

Se debe dar a conocer el proyecto SMED no sólo a los operarios que trabajan con la máquina objeto del proyecto, sino al resto de la organización, pues así se creará un clima general que ayudará muy positivamente a la ambición por la reducción de los tiempos de cambio.

### **Seleccionar una prueba piloto**

En el caso de que se pretenda realizar dicha técnica en más de una máquina, se recomienda elegir una atendiendo simplemente a factores de criticidad como sobrecarga de trabajo. Después, una vez que se haya culminado con esta máquina, y con la experiencia adquirida en ella, se pasará a otra máquina y así sucesivamente.

### **Establecer un objetivo de reducción en los tiempos de cambio**

Tras realizar un pequeño análisis previo de la situación y en base a la experiencia, o simplemente a la necesidad de reducción, se establecerá un objetivo en forma de porcentaje de tiempo a reducir.

Llevar a cabo las cuatro etapas del SMED, dichas etapas se han explicado anteriormente de una manera detallada en Parte 1, en el desarrollo de la teoría del SMED.

### **Implantación de las medidas llevadas a cabo y del nuevo estándar de trabajo**

Una vez se tenga el nuevo método de trabajo desarrollado y las contramedidas necesarias, se han de implantar. El primer paso para la implantación será la formación de los trabajadores en el caso particular de SMED que nos ocupa.

### **Control y seguimiento de la implantación**

Una vez que el nuevo método estándar de trabajo se ha implantado, es necesario realizar seguimientos del mismo, con el fin de verificar el método y corregir diferentes deficiencias que vayan surgiendo.



### **Establecer una extensión del proyecto al resto de las máquinas**

Como ya se comentó anteriormente, si se desea aplicar la técnica a más de una máquina, una vez terminado con la primera pasaremos al resto, lo que nos permitirá beneficiarnos de la experiencia adquirida en la primera de las máquinas.

## **5.2. Desarrollo del método SMED en centro de mecanizado vertical y horizontal.**

### **Fase 0 SMED. Análisis de cambio de serie.**

#### **1. Conformación de equipo multidisciplinario.**

Para esta etapa previa, se conformó un equipo multidisciplinario, con amplia experiencia en el conocimiento del proceso de producción y las implicaciones técnicas correspondientes.

La necesidad de formar un equipo multidisciplinario surge a causa de que el proceso de cambio de serie requiere del servicio de varias áreas de la empresa y por tanto es necesario el conocimiento del método y la coordinación de todos ellos para realizar un cambio de serie con la menor duración posible, eficiente y eficaz.

Aunque el área de Producción es la encargada de realizar el cambio de serie, representada por los operarios de máquinas y supervisores, también participan en el cambio de serie, otros sectores que pueden variar particularmente de acuerdo a cada organización, que en nuestro caso son:

- Logística: realizando el movimiento de entrada y salida de piezas y materiales al puesto de trabajo.
- Calidad: llevando a cabo el análisis de calidad de la producción y encargada de la liberación de la pieza, dando cierre al cambio de serie.
- Pañol: preparando y acondicionando las herramientas y dispositivos de fabricación de cada tipo de pieza
- Ingeniería: para que analice y determine la factibilidad de aplicación de mejoras en la máquina, herramental y dispositivos.
- Mantenimiento: dado que es el área que brinda soporte a la máquina para mejorar su confiabilidad y nivel de servicio, debe proveer soluciones en caso de que se presente una falla durante el cambio de serie.
- Programación: muchas veces la secuenciación de la producción puede influir en los tiempos de cambio de serie, principalmente cuando se puede agrupar la producción a través de familias de productos que comparten herramientas y dispositivos.

#### **2. Realización de la filmación de cambio de serie.**

Se utiliza la filmación para la medición del tiempo del cambio de serie y el análisis de la composición de las operaciones que la componen.

Durante la realización de la filmación participa todo el equipo de trabajo, observando directamente en tiempo real el cambio de serie, esto es de suma importancia porque pone en contacto directo con el proceso a los



representantes de aquellas áreas que suelen no conocer con precisión el proceso y denota fuertemente la implicancia e impacto de la función de cada uno de ellos en el mismo.

### 3. Análisis del video junto a equipo multidisciplinario.

En esta etapa se reproduce la filmación realizada, junto con el equipo multidisciplinario de la empresa. Esta etapa es muy importante y es clave para la formación del nuevo método a generar.

Esta fase del análisis tiene como objetivo recoger el máximo de información posible referente al proceso, tales como:

- La secuencia de operaciones realizadas.
- La tipología de cada una de las tareas, diferenciando en las siguientes tipologías:

Definición de operación de valor: dentro de las operaciones de cambio de serie, llamamos operación de valor a aquella que produce un cambio en la configuración / conformación de la máquina para pasar de producir la pieza X a la pieza Y, la maquina cambia su funcionalidad de X a Y.

- Operación de valor.
  - Operación de transporte.
  - Tiempos de espera
  - Operación de control (reglajes, control de inicio de serie)
- El tiempo de las diferentes tareas y operaciones.
  - Los desplazamientos del operario y del personal.
  - Aspectos del proceso relacionados a los operadores, la organización y al equipamiento involucrado.
  - Identificación de los puntos críticos que reducen la eficacia/eficiencia del proceso de cambio de serie como oportunidades de mejora, así como también las posibles soluciones, ya sea a través de cambio del método o de desarrollo de una mejora tecnológica.

Se utilizó en esta etapa del SMED y para el desarrollo de mejoras una planilla Excel (Cursograma y Matriz de Conversión) diseñada para el análisis del proceso de cambio de serie que permite visualizar, clasificar y cuantificar las diferentes tareas que lo conforman. Esta se encuentra explicada en la Fase 0 de la teoría de la metodología SMED.

- A. Un análisis pormenorizado gráficamente del tiempo de duración y tipo de operación relevado en el cambio de serie se encuentra en el **Anexo 1 (A)** (pág. 79 a 81) para centro de mecanizado vertical y **Anexo 2 (A)** (pág. 90 y 91) para centro de mecanizado horizontal.
- B. El cursograma SMED se encuentra en el **Anexo1 (B)** (pág. 82 a 85) y **Anexo 2 (B)** (pág. 92 a 94).



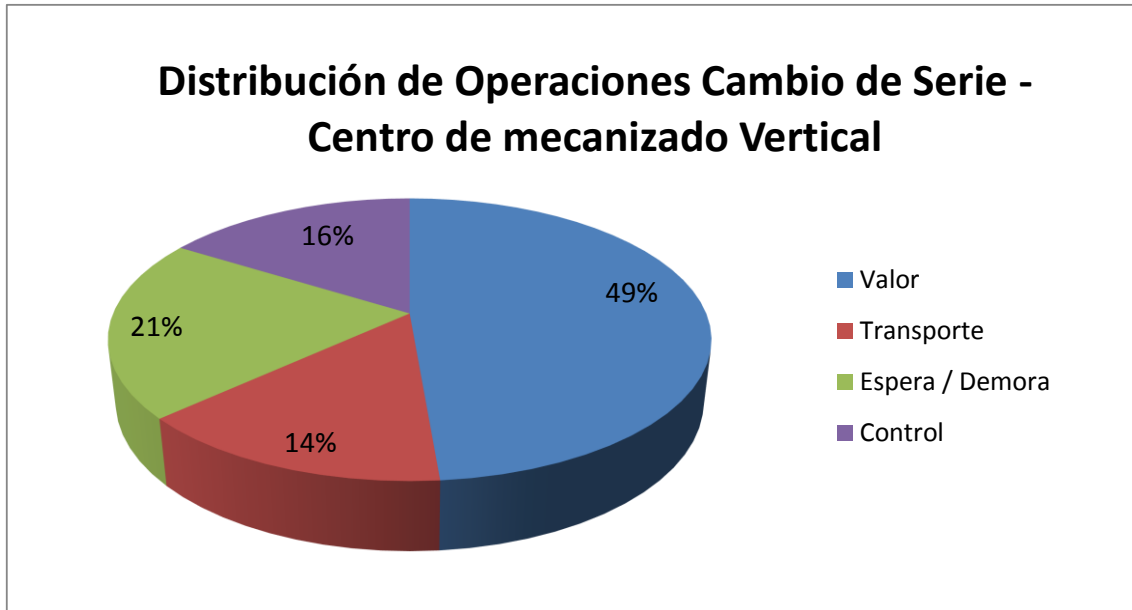


C. La Matriz de Conversión se encuentran en los anexos **Anexo1 (C)** (pág. 86 y 87) para centro de mecanizado vertical y **Anexo 2 (C)** (pág. 95 a 99) para el centro de mecanizado horizontal.

## 6. Resultados del estudio – análisis del cambio de serie.

### 6.1. Resultados centro de mecanizado vertical.

Como resultado del análisis del cambio de serie se obtiene la siguiente distribución de operaciones:



Vemos que sólo la mitad del tiempo del cambio de serie se emplea en acciones propias de reconfiguración de la máquina para el nuevo producto, la leva 4118.

Al igual que un piloto de F1 al entrar a boxes, el operario de la máquina debiera de no alejarse demasiado de su máquina, se trataría de un piloto que baja del auto a realizar aquellas tareas que deben proveer a tiempo las áreas auxiliares, tal como asisten los técnicos y mecánicos al corredor. Se debe por tanto proveer de una estructura y un sistema de gestión de los cambios de serie para asegurar al operario la correcta provisión para el desarrollo de actividades de cambio de serie, para poder reanudar la producción lo antes posible.

#### **Fase 1 SMED – Separar preparación interna y externa**

#### **Fase 2 SMED – Optimizar preparación interna**

Estas fases son de aplicación simultánea. Una vez determinada la tipología de las operaciones, se continúa con un análisis crítico en cuanto a la posición de la misma dentro del cambio de serie.

Aquí la pregunta empleada para pensar cada actividad es:

Quedan evidenciadas aquellas operaciones:



- **Externables:** se hallaron 16 operaciones que se realizan con la máquina detenida y pueden realizarse con la máquina en marcha. Se trata en su mayoría de operaciones de búsqueda y preparado de herramientas. Se eliminan también aproximadamente 230 metros de caminata por parte del operario.

| #  | Tarea / Operación   | X | E | D (m) |
|----|---|---|---|-------|
| 2  | ir a buscar papeles a calidad de cambio de serie                    |   | 1 | 20    |
| 3  | dejar liberacion producción y vuelta a pañol                        |   | 1 | 45    |
| 4  | entregar doc vieja, recibir doc y herramental de la pieza leva 4118 |   | 1 |       |
| 5  | regresar a la maquina con htas                                      |   | 1 | 27    |
| 6  | acomodar lugar de trabajo retirar piezas                            |   | 1 |       |
| 7  | buscar pañol hta retirar dispositivo, volver al puesto con htas     |   | 1 | 54    |
| 14 | verificar si esta programa pieza B                                  |   | 1 |       |
| 15 | buscar micro touch puesta a punto, pañol volver al puesto           |   | 1 | 54    |
| 16 | llegada de dispositivo y pallet                                     |   | 1 |       |
| 17 | retirar dispositivo anterior del pallet                             |   | 1 |       |
| 18 | devolver disp anterior  |   | 1 | 10    |
| 20 | retirar tuercas en T de pallet (4)                                  |   | 1 |       |
| 22 | buscar dispositivo pieza 4118                                       |   | 1 | 10    |
| 25 | buscar carros de bridas, volver al puesto                           |   | 1 | 16    |
| 26 | buscar bridas mezcladas dentro de carro (desorden)                  |   | 1 |       |
| 28 | buscar bridas mezcladas (desorden)                                  |   | 1 |       |

- **Eliminables:** se hallaron 38 operaciones eliminables.



| #   | Tarea / Operación  | X | E | D (m) |
|-----|--|---|---|-------|
| 30  | buscar T para la guía otro tamaño, no esta en carro, busca en otra maq | 1 |   | 26,4  |
| 31  | ir a pañol a buscar llave, volver al puesto                            | 1 |   | 59,5  |
| 33  | sacar herramienta pieza anterior                                       | 1 |   |       |
| 34  | devolver carro de bulones, volver al puesto                            | 1 |   | 16    |
| 38  | poner micro touch (MT) cero de pieza                                   | 1 |   |       |
| 39  | posicionar MT y poner ceros  | 1 |   |       |
| 40  | buscar lapicera, volver al puesto                                      | 1 |   | 10    |
| 41  | posicionar MT y poner ceros (3), anotar valores                        | 1 |   |       |
| 43  | buscar 1 hta en cargador y colocar en posicion, volver al puesto       | 1 |   | 14    |
| 55  | alarma por vueltas de trabajo hta                                      | 1 |   |       |
| 56  | reiniciar maquina, volver al puesto                                    | 1 |   | 12    |
| 57  | reanudar programa de maquina   | 1 |   |       |
| 58  | reanudar programa de maquina, referenciando                            | 1 |   |       |
| 59  | solucionar problema de rpm   | 1 |   |       |
| 100 | sacar pieza terminada, rebabar y chaflanar                             | 1 |   |       |
| 101 | ir a metrologia  | 1 |   | 35    |
| 102 | medir pieza, analizar correcciones                                     | 1 |   |       |
| 103 | volver al puesto (2da corrección)                                      | 1 |   | 35    |



|     |   |   |  |    |
|-----|---|---|--|----|
| 104 | corregir cotas en el programa                   | 1 |  |    |
| 105 | colocar pieza anterior                          | 1 |  |    |
| 106 | corregir programa                               | 1 |  |    |
| 107 | medir pieza                                     | 1 |  |    |
| 108 | cambiar htas de trabajo                         | 1 |  |    |
| 109 | retrabajar pieza                                | 1 |  |    |
| 110 | sacar pieza, chaflanar y limpiar                | 1 |  |    |
| 111 | ir a metrología                                 | 1 |  | 35 |
| 112 | medir pieza, medidas incorrectaa                | 1 |  |    |
| 113 | volver a puesto (3ra corrección)                | 1 |  | 35 |
| 114 | volver a controlar en puesto medidas a corregir | 1 |  |    |
| 115 | cambiar cotas en programa                       | 1 |  |    |
| 116 | remedir pieza y asegurar correccion             | 1 |  |    |
| 117 | cambiar cotas en programa                       | 1 |  |    |
| 118 | maquinar pieza ciclo 1                          | 1 |  |    |
| 119 | retirar pieza cambiar posicion                  | 1 |  |    |
| 120 | maquinar pieza ciclo 2                          | 1 |  |    |
| 121 | retirar pieza limpiar cambiar posicion          | 1 |  |    |
| 122 | maquinar pieza ciclo 3                          | 1 |  |    |
| 123 | chaflanar y limpiar, rebabar                    | 1 |  |    |

- **Mejorables a través de un nuevo método:**

1. Carro con herramental de puesta a punto traído a máquina por operario pañolero.
2. Control y carga previa de programa de pieza entrante a producción con máquina en funcionamiento.
3. Dispositivo limpio y preparado dispuesto en sector asignado en cercanía del puesto. Tarea asignada a pañolero.





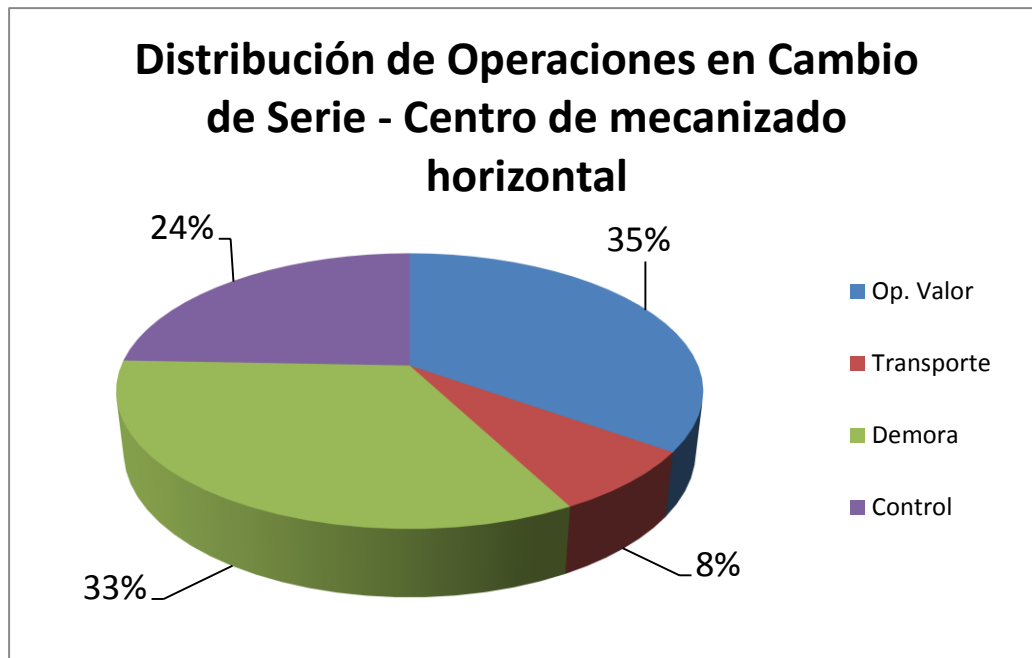
4. Eliminar el control de calidad de la pieza por parte del supervisor

- **Mejorables a través de un cambio tecnológico.**

1. Adaptar carro de transporte de herramientas, más ergonómico y facilitador de la visualización de las herramientas que contiene.
2. Ajuste rápido de chapa protectora y topes.
3. Dispositivo de retiro de pallet más eficiente y seguro.
4. Estandarizar bridas y tuercas de ajuste.
5. Sistema de guías para eliminar la toma de ceros.

## 6.2. Resultados centro de mecanizado horizontal – Mori Seiki.

Como resultado del análisis del cambio de serie se obtiene la siguiente distribución de operaciones para el centro de mecanizado horizontal:



- **Externable**, 6 operaciones expuestas en la siguiente tabla:

| #  | Tarea / Operación  | X | E | D (m) |
|----|--|---|---|-------|
| 2  | dar aviso a supervisor termino de producción volver a puesto, supervisor da aviso de retiro de material y mesa |   | 1 | 30    |
| 4  | buscar caja de herramientas en pañol   |   | 1 | 64    |
| 5  | buscar pañolero, regresar a pañol, recibir herramientas  |   | 1 | 48    |
| 6  | regreso a puesto   |   | 1 | 32    |
| 79 | ir a dar aviso a calidad para medir pieza, buscar instrumento de medición                                      |   | 1 | 50    |
| 80 | cambiar palpadores de máquina, calibrar con esfera   |   | 1 |       |

- **Eliminables**, 18 operaciones:

| #  | Tarea / Operación  | X | Y | E | D (m) |
|----|--|---|---|---|-------|
| 9  | buscar mulero, limpiar bancada   | 1 |   |   | 48    |
| 15 | colocar mordazas (solo 2 de 4)   | 1 |   |   |       |
| 16 | intenta ubicar mordazas restantes                                      | 1 |   |   |       |
| 17 | buscar par de mordazas OK, buscar alicate en pañol, volver al puesto   | 1 |   |   | 111,2 |
| 18 | intenta ubicar mordazas restantes                                      | 1 |   |   |       |
| 19 | buscar bulon mas largo, regresar al puesto                             | 1 |   |   | 16    |
| 27 | acomodar mangueras en mesa de trabajo                                  | 1 |   |   | 6,4   |
| 30 | consultar por carga de datos   | 1 |   |   | 16    |
| 31 | continuar carga de datos con ayuda operario 2                          | 1 |   |   |       |
| 34 | maquinar pieza con H1, maquinar lado 2, varias pasadas                 | 1 |   |   |       |
| 35 | análisis de problema de maquina, decisión de medir pieza sobre máquina | 1 |   |   |       |
| 36 | buscar calibre para medir pieza (en sala de calidad), volver al puesto | 1 |   |   | 80    |
| 37 | medir pieza en máquina   | 1 |   |   |       |
| 38 | consultar por problema de dimensiones de pieza                         | 1 |   |   |       |
| 39 | corregir medida, nuevo maquinado                                       | 1 |   |   |       |
| 40 | continuar correcciones   | 1 |   |   |       |
| 41 | consultar por problema   | 1 |   |   | 72    |
| 42 | continuar correcciones   | 1 |   |   |       |



Continuación de tabla de elementos a eliminar en cambio de serie en centro de mecanizado horizontal:

|    |   |   |  |    |
|----|---|---|--|----|
| 43 | medir pieza nuevamente                        | 1 |  |    |
| 55 | corroborar condiciones de H4                  | 1 |  |    |
| 75 | resetear datos H6                             | 1 |  |    |
| 76 | referenciar por alarma reposicionar husillo   | 1 |  |    |
| 84 | buscar dispositivo de fijación doble A        | 1 |  | 30 |
| 87 | controlar con calibres en puesto              | 1 |  |    |
| 91 | consultar por correcciones                    | 1 |  |    |
| 92 | buscar pañol por condiciones de rugosidad     | 1 |  | 32 |
| 93 | corregir condiciones de rugosidad en máquina  | 1 |  |    |
| 94 | buscar informacion de errores para corrección | 1 |  | 20 |
| 99 | medir pieza con calibre en dispositivo        | 1 |  |    |

- **Mejorables a través de un nuevo método:**

1. Carro con herramental de puesta a punto traído a máquina por operario pañolero.
2. Control y carga previa de programa de pieza entrante a producción con máquina en funcionamiento.
3. Dispositivo limpio y preparado dispuesto en sector asignado en cercanía del puesto. Tarea asignada a pañolero.
4. Eliminar el control de calidad de la pieza por parte del supervisor

- **Mejorables a través de un cambio tecnológico.**

1. Adaptar carro de transporte de herramientas, más ergonómico y facilitador de la visualización de las herramientas que contiene.
2. Ajuste rápido de chapa protectora y topes.
3. Dispositivo de retiro de pallet más eficiente y seguro.
4. Estandarizar bridas y tuercas de ajuste.
5. Sistema de guías para eliminar la toma de ceros.



### 6.3. Desarrollo de propuestas de mejora

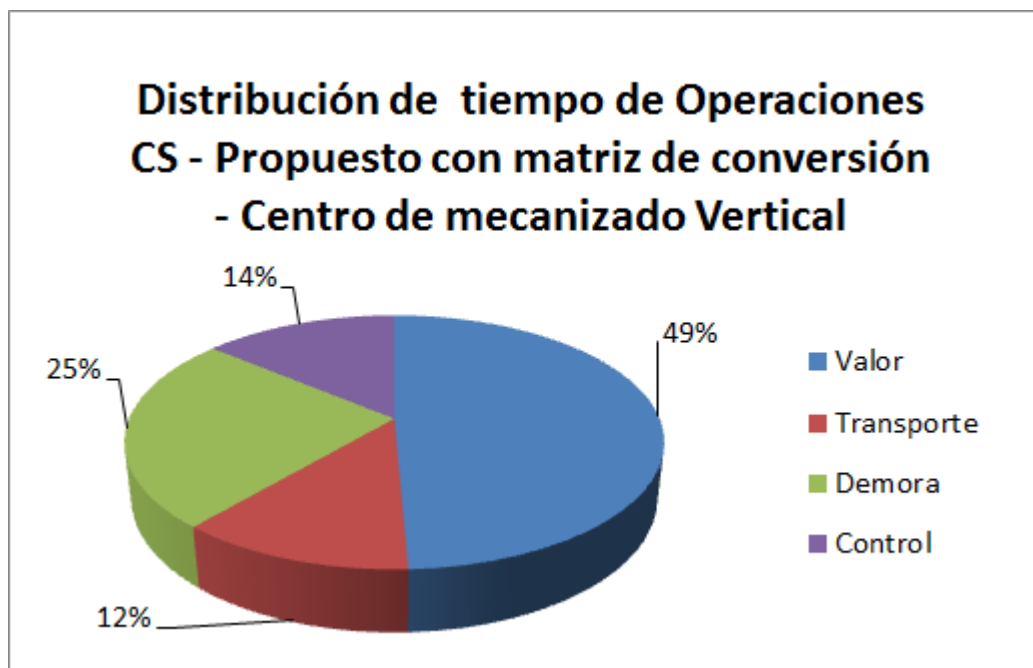
Con el soporte de la Matriz de Conversión en planilla Excel, ante cada situación problemática encontrada, el grupo de trabajo SMED asigna a cada propuesta de mejora un tiempo de trabajo estimado a cada operación con propuesta de mejora, ya sea tecnológica o metodológica.

A través de la matriz se construye un tiempo probable para la nueva medición cambio de serie con los cambios propuestos.

La Matriz de Conversión se encuentra en los anexos **Anexo1 (C)** (pág. 86 y 87) para centro de mecanizado vertical y **Anexo 2 (C)** (pág. 95 a 99) para el centro de mecanizado horizontal.

Vemos ahora la distribución de tiempos y estructura de cambio de serie resultante con los nuevos tiempos propuestos y las acciones pensadas para cada situación en cada centro de mecanizado CNC.

#### A. Centro de mecanizado vertical – resultado teórico estimado de la aplicación de propuestas.



#### Cuadro comparativo – Relevado vs Propuesto centro de mecanizado vertical.

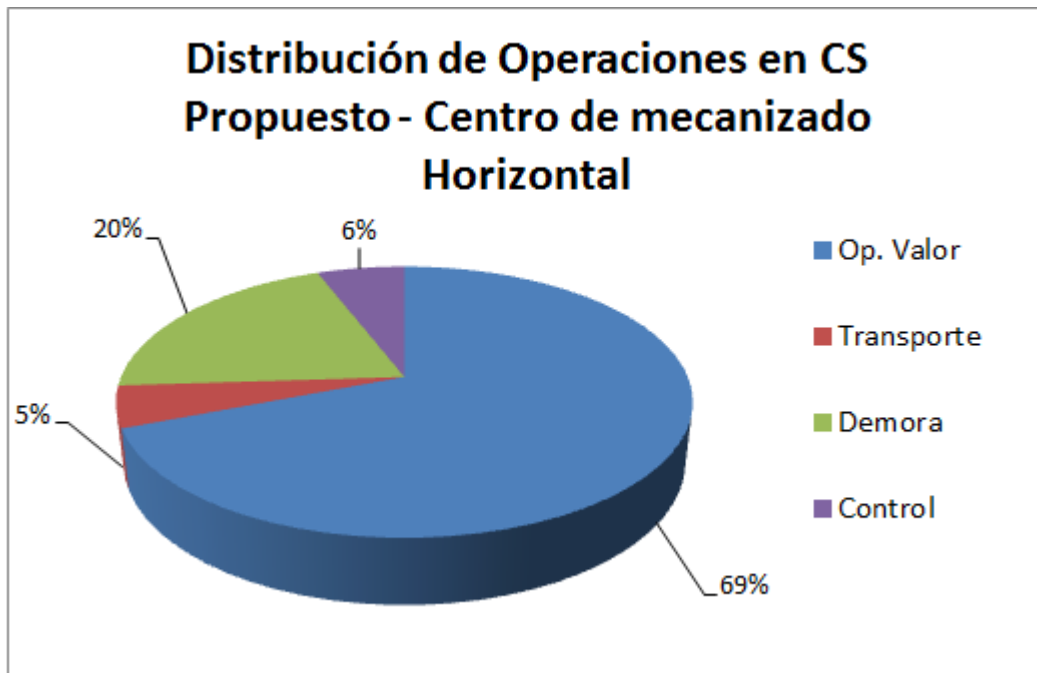
| OPERACIÓN     | Tiempos (min) y recorrido (m) |          |           |          |               |              |
|---------------|-------------------------------|----------|-----------|----------|---------------|--------------|
|               | Relevado                      |          | Propuesto |          | Comparaciones |              |
|               | t(min)                        | Cantidad | t(min)    | Cantidad | Dif (min) R-P | % mejora R-P |
| Op. Valor     | 69,7                          | 59       | 36,5      | 45       | -33,3         | 48%          |
| Transporte    | 20,8                          | 30       | 8,9       | 12       | -12,0         | 58%          |
| Demora        | 29,6                          | 30       | 18,3      | 17       | -11,3         | 38%          |
| Control       | 23,1                          | 13       | 10,3      | 7        | -12,9         | 56%          |
| Tiempo total  | 143,3                         | 132      | 73,9      | 81       | -69,4         | 48%          |
| Recorrido (m) | 800,4                         |          | 254       |          | -546,4        | -68%         |



El cambio de serie propuesto lleva a una reducción del tiempo del 48 %, significando una reducción de 69,4 minutos de tiempo de detención del centro de mecanizado vertical y una reducción de 51 operaciones llevadas a cabo por el operario.

También es importante remarcar que la propuesta prevé una reducción de 546 metros en la distancia recorrida por el operario durante el cambio de serie de serie. Esto representa un ahorro de 68% en movimientos de traslado del operario.

**B. Centro de mecanizado horizontal – resultado teórico estimado de la aplicación de propuestas.**



**Cuadro comparativo – Relevado vs Propuesto centro de mecanizado horizontal.**

| OPERACIÓN     | Tiempos (min) y recorrido (m) |          |           |          |               |              |
|---------------|-------------------------------|----------|-----------|----------|---------------|--------------|
|               | Relevado                      |          | Propuesta |          | Comparaciones |              |
|               | t(min)                        | Cantidad | t(min)    | Cantidad | Dif (min) R-P | Mejora % R-P |
| Op. Valor     | 65,9                          | 44       | 47,15     | 38       | -18,7         | -28%         |
| Transporte    | 14,1                          | 20       | 3,38      | 11       | -10,7         | -76%         |
| Demora        | 62,9                          | 29       | 13,78     | 15       | -49,1         | -78%         |
| Control       | 46,1                          | 22       | 28,87     | 19       | -17,2         | -37%         |
| Tiempo total  | 188,9                         | 115      | 93,2      | 83       | -95,7         | -51%         |
| Recorrido (m) | 911,6                         |          | 256       |          | 655,6         | 72%          |

Para el centro de mecanizado horizontal CNC, la reducción del cambio de serie a través de la propuesta es de 95,7 minutos y se ejecutan 32 operaciones menos por parte del operario.



Además de estas aproximaciones de tiempos de cambio de serie obtenidas por la matriz de conversión, salen las acciones necesarias para esa reducción en los tiempos, acciones metodológicas y tecnológicas, acciones que ahora pasan a ser parte del Plan de acciones que los grupos de mejora deben cumplir para alcanzar los tiempos de cambio fijados como objetivo.

#### **6.4. Implementación e implantación de soluciones propuestas en máquinas.**

Una vez que ya se tiene definido el nuevo método de cambio de serie propuesto por el equipo y que ya tenemos una estimación propuesta teórica del tiempo de cambio de serie, se debe poner en práctica. Ahora es cuando deben entrar en juego las personas que realizan el cambio en el método y la gestión de la información y recursos para el cambio de serie, debiendo trabajar fuertemente en el cambio de las viejas costumbres y un método de trabajo adquirido durante muchos años.

Es por eso por lo que esta fase es muy importante, puesto que la actitud de las personas a los cambios de hábitos suele ser de desaprobación. Para paliar estas posibles dificultades es preciso realizar nuevas tareas de formación e información, no sólo de la filosofía SMED, sino del caso particular que nos ocupa, explicando detenidamente cuál es la nueva forma de trabajar, realizando el seguimiento del mismo hasta que la nueva forma de trabajo se convierta en la habitual.

Cabe destacar que es muy importante realizar un seguimiento detallado al menos hasta que se consiga trabajar de la manera deseada. La mejor manera no pasa simplemente por medir los tiempos de cambio, sino por observar y grabar los mismos a intervalos regulares con el fin de detectar las desviaciones que se pueden producir sobre el método de trabajo estándar, para así poder corregirlas, o bien para corregir el propio método de trabajo, manteniendo el enfoque en la mejora continua.

De esta forma el método de trabajo estándar se convertirá en el habitual, pero aun así, de manera periódica se debe hacer un seguimiento a través de auditorías, no sólo para detectar desviaciones del método, sino para incrementar la motivación de los trabajadores cuando éstos hayan cumplido con los objetivos del proyecto.

Los planes de implementación se hallan descritos en el **Anexo 1 (D)** (pág. 88 y 89) para centro de mecanizado vertical y **Anexo 2 (D)** (pág. 100 y 101) para el centro de mecanizado horizontal.

#### **6.5. Resultados de implantación de propuestas de mejora.**

##### **A. Centro de mecanizado vertical**



| OPERACIÓN     | Tiempos (min) y recorrido (m) |          |            |          |               |              |
|---------------|-------------------------------|----------|------------|----------|---------------|--------------|
|               | Relevado                      |          | Validación |          | Comparaciones |              |
|               | t(min)                        | Cantidad | t(min)     | Cantidad | Validación    |              |
|               | t(min)                        | Cantidad | t(min)     | Cantidad | Dif (min) O-V | % mejora O-V |
| Op. Valor     | 69,7                          | 59       | 37,9       | 17       | -31,8         | 46%          |
| Transporte    | 20,8                          | 30       | 3,4        | 4        | -17,4         | 84%          |
| Demora        | 29,6                          | 30       | 14,5       | 3        | -15,1         | 51%          |
| Control       | 23,1                          | 13       | 1,0        | 1        | -22,1         | 96%          |
| Tiempo total  | 143,3                         | 132      | 56,8       | 25       | -86,4         | -60,3%       |
| Recorrido (m) | 800,4                         |          | 160,2      |          | -640,2        | -80,0%       |

Finalmente, el resultado de la aplicación de los cambios metodológicos como primera medida y, además de modificaciones técnicas simples realizadas sobre el CM vertical, llevaron a una reducción relevada del 60 % del tiempo de cambio de serie mejorado y se lograron eliminar 107 operaciones.

Además se reduce la distancia caminada por el operario en 640 metros, reduciendo la carga de fatiga del operario en el proceso. Esto representa un ahorro de 80% en movimientos de traslado del operario.

Este es un factor importante a considerar si luego se prevé trabajar con lotes más pequeños y mayor frecuencia de cambios serie.

#### B. Centro de mecanizado Horizontal Mori Seiki.

No se llegó a relevar el método propuesto para el centro de mecanizado horizontal en empresa. Utilizamos para el cálculo, el tiempo teórico presupuestado con la planilla de nuevo método.

| OPERACIÓN     | Tiempos (min) y recorrido (m) |          |           |          |               |              |
|---------------|-------------------------------|----------|-----------|----------|---------------|--------------|
|               | Relevado                      |          | Propuesta |          | Comparaciones |              |
|               | t(min)                        | Cantidad | t(min)    | Cantidad | Propuesta     |              |
|               | t(min)                        | Cantidad | t(min)    | Cantidad | Dif (min) R-P | Mejora % R-P |
| Op. Valor     | 65,9                          | 44       | 47,15     | 38       | -18,7         | -28%         |
| Transporte    | 14,1                          | 20       | 3,38      | 11       | -10,7         | -76%         |
| Demora        | 62,9                          | 29       | 13,78     | 15       | -49,1         | -78%         |
| Control       | 46,1                          | 22       | 28,87     | 19       | -17,2         | -37%         |
| Tiempo total  | 188,9                         | 115      | 93,2      | 83       | -95,7         | -51%         |
| Recorrido (m) | 911,6                         |          | 256       |          | -655,6        | -72%         |

Como resultado teórico, se obtiene una reducción del tiempo de cambio de serie del 51%, logrado a través de la matriz de conversión.

## 7. Análisis de costos de implementación SMED.

**Nota:** En este trabajo, no fueron provistos por la empresa los datos de costos de implementación del SMED, ya que las actividades importantes de modificación de dispositivos - herramienta se planificaron como actividad posterior al cierre del mismo. Sin embargo, nombramos los indicadores de impacto económico – industrial que deben tenerse en cuenta para la toma de decisiones de mejoras a adoptar.



### 7.1. Indicadores claves de impacto económico – industrial.

- Tiempo estimado de ahorro de cambio de serie de la mejora.
- Valoración del Costo – Beneficio.
- Dificultad de implementación de la mejora.
- Impacto en seguridad del operario.

Se debe realizar una matriz de ponderación de cada mejora significativa a emplear y en función de la sumatoria de la valoración final de cada mejora, definir cuales habrán de ser implementadas.

## 8. Análisis de beneficios económicos obtenidos por SMED.

Para cuantificar los beneficios económicos de la implantación de un sistema SMED, determinamos primero el costo de funcionamiento de la máquina centro de mecanizado vertical y horizontal.

Aquí también se protegen los datos principales de la empresa, solo se emplean los datos técnicos de las máquinas, luego los demás costos se estiman en función del sector en que trabaja la empresa, empleando valores medios.

Se utilizará una cantidad teórica de cantidad de 20 cambios mensuales, para representar situación de máquina saturada, que debe trabajar con cierta flexibilidad y alternancia entre productos (aproximadamente 1 cambio por día).

### 8.1. Centro de mecanizado vertical

#### A. Calculo de costo de hora centro de mecanizado vertical YCM – VMC 1100 A.

Se calcula el costo de reposición con la máquina amortizada sin descuento, para ser reemplazada por otra similar nueva en 2,5 años, bajo 2 turnos de 8 horas de trabajo, 20 días al mes y bajo un periodo de 11,5 meses laborables. No se utiliza en este caso el periodo de amortización contable de 5 años, sino uno de menor duración que tiene el objetivo de obtener un resultado del cálculo de reposición o pago de la máquina para una industria en un mercado inestable y en función de reducir esta inestabilidad o incertidumbre, se decide utilizar un periodo más corto de amortización.

Es importante considerar la devolución más rápida posible en inversiones y es particularmente importante para compañías con dinero limitado que necesiten recuperar su capital lo más rápido posible.



## CALCULO DE COSTO/HORA YCM – VMC 1100 A

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| Valor actual de máquina | \$ 500.000 |
|-------------------------|------------|

|                                |      |                                  |
|--------------------------------|------|----------------------------------|
| Período de amortización (años) | 2,5  | Horas para amortizar<br><br>9200 |
| Meses laborables               | 11,5 |                                  |
| Días laborables al mes         | 20   |                                  |
| Turnos al día                  | 2    |                                  |
| Horas por turno                | 8    |                                  |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Reposición de máquina (\$/hr) | 54,3 |
|-------------------------------|------|

| COSTOS OPERATIVOS POR HORA (\$/hr) |       |
|------------------------------------|-------|
| Operario                           | 32,4  |
| Insumos                            | 18,8  |
| Estructura de Gestión              | 132,4 |
| Energía                            | 37,5  |

|                      |            |
|----------------------|------------|
| <b>TOTAL (\$/hr)</b> | <b>275</b> |
|----------------------|------------|

## B. Reducción del costo de cambio de serie.

En función de este costo por hora y la reducción del tiempo de máquina detenida que se obtiene en la validación del SMED, que es tiempo que logramos pasar a productivo; calculamos el dinero que antes se utilizaba para pagar el cambio de serie, ahora a disposición de producción. Esto no representa un ahorro directo, sino que es monto de dinero antes puesto en funciones no productivas, ahora en producción.

- Para una cantidad media de 20 cambios mensuales se tiene la siguiente mejora en el empleo de recursos luego de aplicar SMED:



**ANALISIS ECONOMICO DE MEJORA EN EL EMPLEO DE RECURSOS**

Siendo la mejora resultante de validación (min): 86,4

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| Cambios de serie x mes x máquina | <b>20</b> |
| Minutos ganados x mes x máquina  | 1728,7    |
| Horas ganadas x mes x máquina    | 28,8      |
| Horas ganadas x año x máquina    | 331,3     |

A

**Como hipótesis:**

Si el costo de la hora de trabajo de la máquina es de  
Si tomamos la cantidad de meses laborables como

\$ 275,4  
11,5

B

|  |    |        |
|--|----|--------|
| Monto transferido a producción x mes x máquina | \$ | 7.934  |
| Monto transferido a producción x año x máquina | \$ | 91.240 |

La cantidad de máquinas susceptibles de una mejora similar

3

SMED sobre 3 máquinas significa una disminución de costo de cambio de serie anual de: **\$ 273.720**

**C. Cálculo beneficio económico centro de mecanizado vertical**

Se calcula el beneficio resultante de esta capacidad recuperada, esto es el beneficio obtenido de producir para clientes que anteriormente no podían ser tomados por falta de capacidad.

**ANALISIS DE BENEFICIO ECONOMICO POR SMED**

De acuerdo a las horas pasadas a productivas (A) y el costo de la hora de trabajo de la máquina (B), con un beneficio del 20 % sobre el costo de la hora de producción, calculamos el beneficio generado por el SMED.

|   |              |     |
|---|--------------|-----|
| Lucro de capacidad recuperada x año x máquina | \$ 18.248,03 | 20% |
|---|--------------|-----|

Lucro de capacidad recuperada x año x 3 máquinas **\$ 54.744**

Tomando un beneficio de 20% del costo de producción por pieza, calculamos el beneficio total de la producción en este tiempo de producción recuperado por SMED extendido a 3 máquinas.





**8.2. Centro de mecanizado horizontal Mori Seiki SH – 50 (tiempo propuesto, obtenido a través de Matriz de Conversión)**

A. Calculo de costo de hora centro de mecanizado Mori Seiki.

| CALCULO DE COSTO/HORA MORI SEIKI SH - 50 |            |                                  |
|--|------------|----------------------------------|
| Valor actual de máquina                  | \$ 600.000 |                                  |
| Período de amortización                  | 2,5        | Horas para amortizar<br><br>9200 |
| Meses laborables                         | 11,5       |                                  |
| Días laborables al mes                   | 20         |                                  |
| Turnos al día                            | 2          |                                  |
| Horas por turno                          | 8          |                                  |
| Reposición de máquina (\$/hr)            | 65,2       |                                  |
| COSTOS OPERATIVOS POR HORA (\$/hr)       |            |                                  |
| Operario                                 | 32,4       |                                  |
| Insumos                                  | 18,8       |                                  |
| Estructura de Gestión                    | 132,4      |                                  |
| Energía                                  | 75,0       |                                  |
| <b>TOTAL (\$/hr)</b>                     | <b>324</b> |                                  |

B. Reducción del costo de cambio de serie.

- Para una cantidad media de 20 cambios mensuales en el centro de mecanizado horizontal se tiene:

**ANALISIS ECONOMICO DE MEJORA EN EL EMPLEO DE RECURSOS**

Siendo la propuesta de mejora resultante de (min): 95,7

|                                  |        |   |
|----------------------------------|--------|---|
| Cambios de serie x mes x máquina | 20     |   |
| Minutos ganados x mes x máquina  | 1914,7 |   |
| Horas ganadas x mes x máquina    | 31,9   |   |
| Horas ganadas x año x máquina    | 367,0  | C |

Como datos:

Si el costo de la hora de trabajo de la máquina es de \$ 323,7 D  
 Si tomamos la cantidad de meses laborables: 11,5

|  |            |
|--|------------|
| Costo transferido a producción x mes x máquina | \$ 10.331  |
| Costo transferido a producción x año x máquina | \$ 118.808 |

La cantidad de máquinas susceptibles de una mejora similar 3

SMED en 3 CM horizontales lleva a una disminución de costo de cambio de serie anual aproximada de: \$ 356.424

## C. Cálculo beneficio económico centro de mecanizado horizontal Mori Seiki.

**ANÁLISIS DE BENEFICIO ECONOMICO POR SMED**

Con las horas anuales pasadas a productivas (C) y el costo de la hora de trabajo de la máquina (D), y un beneficio del 20 % sobre el costo de la hora de producción, calculamos el beneficio generado por el SMED.

|  |    |        |     |
|--|----|--------|-----|
| Lucro de capacidad recuperada x año x máquina    | \$ | 23.762 | 20% |
| Lucro de capacidad recuperada x año x 3 máquinas | \$ | 71.285 |     |

**8.3. Resultado económico del parque de máquinas bajo SMED.**

En caso de lograrse la correcta aplicación del SMED en estos sectores constituido por 6 máquinas, se tiene una reducción de costos en cambio de serie de aproximadamente \$ 624.000 al año, dinero que pasa a utilizarse en pagar para producir, y una ganancia potencial de utilización de capacidad recuperada de aproximadamente \$ 124.000.

**8.4. Capacidad recuperada estimada del parque de máquinas bajo SMED.**

Se analiza ahora los resultados en términos de capacidad de trabajo los resultados obtenidos en cada tipo de centro de mecanizado CNC, extendidos al parque de máquinas completo.

Datos para el cálculo:

- Turnos de trabajo: 2 turnos.
- Horas del turno: 8 hs.
- Días laborables al mes: 20
- Meses laborables al año: 11,5
- Tasa de eficiencia del desempeño industrial (OEE) con CS: 66 %

El cálculo del OEE estimado teóricamente, se encuentra en el **Anexo 3** (página 102)

Además se asume el supuesto de que el tiempo de cambio de serie obtenido por SMED para cada tipo de CNC es igualmente reproducible en los mismos de su tipo y permanece constante durante 1 año.

## A. Sector centro de mecanizados Verticales.

Utilizando el cálculo de horas recuperadas en centro de mecanizado vertical en el punto 8.1.B (A), se comienza la deducción del estimado de capacidad recuperada por SMED.



**ANALISIS DE DISPONIBILIDAD**

|   |       |
|---|-------|
| Total anual de horas recuperadas por SMED en CM vertical: | 331,3 |
|---|-------|

Si la disponibilidad neta de trabajo anual por máquina es de

(E.)

|             |      |  |      |                           |      |
|-------------|------|--|------|---------------------------|------|
| Meses       | 11,5 | Horas netas disponibles al año por máquina | 2429 | Total disponible con SMED | 2760 |
| Días/mes    | 20   |  |      |                           |      |
| Turnos/día  | 2    |  |      |                           |      |
| Horas turno | 8    |  |      |                           |      |
| OEE con CS  | 66%  |  |      |                           |      |

|   |       |
|---|-------|
| El incremento de disponibilidad neta de la máquina es de: | 13,6% |
|---|-------|

|  |     |
|--|-----|
| Analizando una recuperación de horas en el parque de máquinas de CM verticales (3), liberamos aproximadamente [hs]= (E.) x 3 | 994 |
|--|-----|

|  |       |
|--|-------|
| El incremento de disponibilidad acumulado del sector, respecto a la disponibilidad neta de un CM vertical es de: | 40,9% |
|--|-------|

Este porcentaje representa haber incorporado al sector de CM horizontales una capacidad de trabajo neta equivalente de aproximadamente 41 % de una nueva máquina.

**B. Sector centros de mecanizado Horizontales.**

Utilizando el cálculo de horas recuperadas en centro de mecanizado vertical en el punto 8.2.B (C), se comienza la deducción del estimado de capacidad recuperada por SMED.

**ANALISIS DE DISPONIBILIDAD**

|   |     |
|---|-----|
| Total anual de horas recuperadas por SMED en CM horizontal: | 367 |
|---|-----|

Si la disponibilidad neta de trabajo anual por máquina es de

(F)

|                  |      |  |      |                           |      |
|------------------|------|--|------|---------------------------|------|
| Meses            | 11,5 | Horas netas disponibles al año por máquina | 2429 | Total disponible con SMED | 2796 |
| Días/mes         | 20   |  |      |                           |      |
| Turnos/día       | 2    |  |      |                           |      |
| Horas turno      | 8    |  |      |                           |      |
| OEE aprox con CS | 66%  |  |      |                           |      |

|  |       |
|--|-------|
| El incremento de disponibilidad de la máquina es de: | 15,1% |
|--|-------|

|   |      |
|---|------|
| Analizando una recuperación de horas en el parque de máquinas de CM horizontales (3), liberamos aproximadamente [hs]= (F) x 3 | 1101 |
|---|------|

|  |       |
|--|-------|
| El incremento de disponibilidad acumulado del sector, respecto a la disponibilidad neta de un CM horizontal es de: | 45,3% |
|--|-------|

Este porcentaje representa haber incorporado al sector de CM horizontales una capacidad de trabajo neta equivalente al 45,3% de una nueva máquina.



## 9. Determinación del lote económico

Otra importante ventaja que puede aportar la correcta implantación y gestión del sistema SMED es la reducción del tamaño de lote de producción, que a su vez repercute en varias ventajas de índole productiva, financiera, comercial y logística.

El objetivo a cumplir ahora es determinar el nuevo tamaño teórico y sugerido a fabricar en función de la disponibilidad de tiempo ganada en la reducción de tiempo de máquina detenida por cambio de serie.

Para el cálculo teórico se emplea una hoja Excel donde se exponen las piezas que recibe cada máquina y junto a los datos de producción de las mismas se determina el nivel de carga actual y futuro previsto en función de nuevos productos, que deben ser absorbidos por estos centros de mecanizados CNC. El tamaño de lote más conveniente, en función de la nueva capacidad, se determinara que productos pueden ingresar a cada máquina

De acuerdo a este conjunto de datos y los costos respectivos de stock y almacenamiento se realizará el análisis de costos, luego haciendo extensivos los resultados logrados con el SMED en cada tipo de centro de mecanizado, al cálculo de capacidad de todo el conjunto de máquinas (centro de mecanizados verticales y horizontales).






### 9.1. Dificultades técnicas para alcanzar la reducción del lote de producción.

Una vez alcanzado el incremento de disponibilidad productiva en las máquinas, se puede hacer uso del mismo:

- Incrementando la cantidad a fabricar o agregar un producto no producido actualmente por la máquina,
- Incrementando la flexibilidad de la máquina, agregando nuevos productos a fabricar en la máquina.

En este último caso puede resultar complejo, ya que se incrementa la probabilidad de la necesidad de reducir el tamaño de los lotes de producción y a veces se pueden encontrar ciertas barreras para lograrlo de manera efectiva, estas causas pueden ser:

- A. Cuando se programa la carga de máquina por familias de productos, asignados por máquina, y no se ha eficientizado el cambio entre familias de productos (más complejos).

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
|  | Producción                            |
|  | Cambio interno                        |
|  | Cambio Externo                        |
|  | Cambio de Familia de productos        |
|  | Interferencias entre cambios de serie |

*Referencias para los gráficos 11 y 12.*



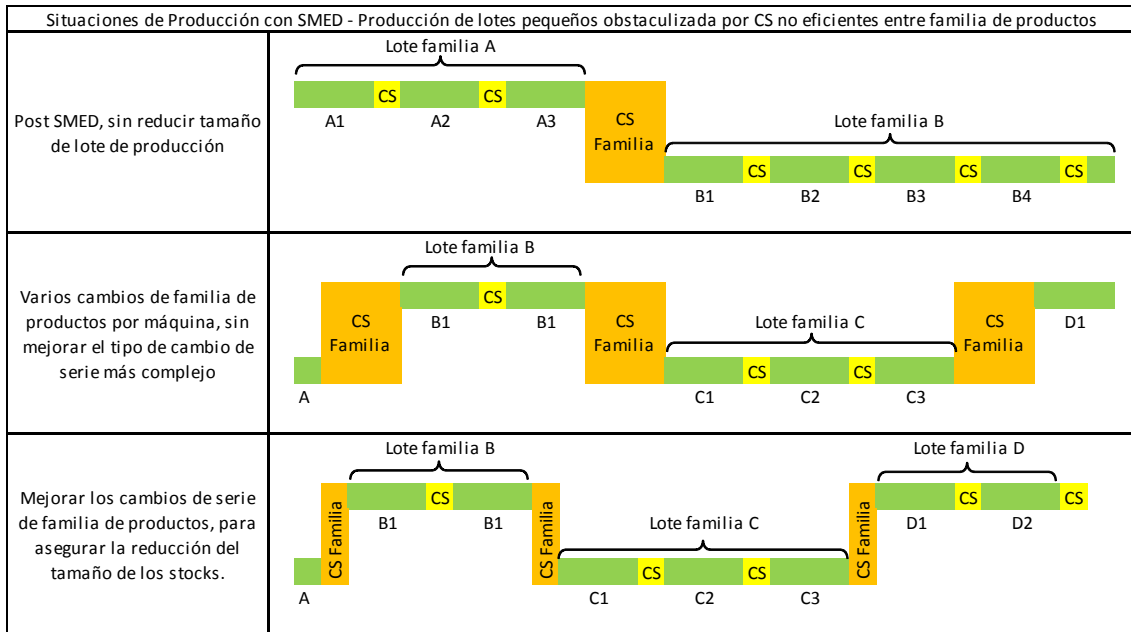


Gráfico 11: Representación del impacto del tipo de cambio de serie que pasa de una familia de producto a otra.

Consecuencias:

- Cae la disponibilidad de máquina y dificulta la producción con lotes reducidos.

Acciones:

- Trabajar principalmente en la reducción de tiempo de los cambios de serie entre familias, cuando no se tiene la capacidad de distribuir las familias de productos en diferentes máquinas.
- Asignar grupos de familias de productos por máquina para reducir la variación y los cambios complejos.

B. Cuando el tiempo de producción es menor al demandado por las acciones externas de cierre y apertura entre productos y son realizadas por la misma persona/equipo, no permitiendo realizar la preparación externa.



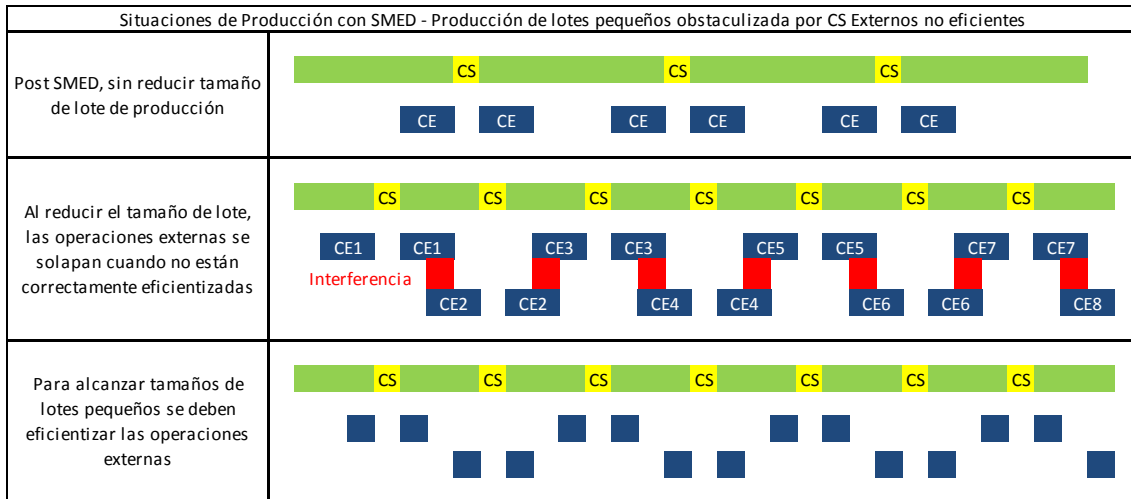


Gráfico 12: Representación de situación producción de lotes de menor tamaño obstaculizada por cambios de serie externos no eficientes.

Consecuencias:

- Se dificulta la producción en lotes pequeños y por tanto no se reduce el stock de producto terminado.

Acciones:

- Eficientizar los cambios externos al máximo.
- De dificultarse el primer punto, trabajar con mínimo de 2 personas/equipos de cambios de serie en función de la cantidad de máquinas y de cambios.

**9.2. Ejemplo de Cálculo de lote económico y costo de setup por pieza en Centro de mecanizado vertical.**

Hipótesis de Cálculo en planilla de carga de máquina.

Se asumen para el ejemplo:

- 2 turnos.
- 8 hs. por turno.
- 21 días al mes disponibles.
- Se utiliza un OEE de 85 % sin considerar el tiempo de Cambio de Serie en este porcentaje.
- El tiempo total invertido en Cambio de Serie se obtiene de la carga de máquina particular que se utiliza en el ejemplo.
- Para el cálculo de Lote Económico, se emplea la fórmula planteada en el Capítulo 1, de la teoría del SMED.
- La carga realizada contempla productos cuyos lotes que tienen considerado el stock de seguridad correspondiente en cada pieza.





9.2.1. Lote económico y costo de setup por pieza. Situación actual.

Nota: Los datos de producción empleados para los cálculos no son los propios de la empresa para protección de información industrial.

La situación planteada inicialmente, sin SMED, es la que muestra la figura siguiente, parte de la planilla de cálculo en que se puede ver la diferencia de los tamaños de lotes empleados y los que corresponden al cálculo del lote económico, con un tiempo de cambio de serie de dos (2) horas en promedio. Para este ejemplo de carga de máquina resultan 29 cambios mensuales con el tamaño de lote actual.

Se demuestra que actualmente no se está utilizando el concepto de lote económico para dimensionar los lotes de producción.

Resultados de costo de setup por pieza producida, sin SMED:

- En tiempo de CS, segundos por pieza producida: **39 seg/pieza.**
- En dinero, pesos costo de CS por pieza producida: **3,2 \$/pieza.**

| DETERMINACION LOTE ECONOMICO ACTUAL - CM VERTICAL YMC 1100 A |                |                      |                       |                        |                |                       |                      |          |                                |             |             |                |
|--|----------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------|--------------------------------|-------------|-------------|----------------|
|  | REFERENCIA     | LOTE ACTUAL          | PIEZAS POR HORA [ R ] | TIEMPO PROD LOTE (Hs)  | PZAS / CAPACHO | CTDAD DE RACKS (LOTE) | COSTO SETUP ACTUAL   |          | CTDAD DE CAMBIOS               | LE (actual) | Dif (LP-LE) | Diferencia (%) |
|  |                |                      |                       |                        |                |                       | [seg/pza]            | [\$/pza] |                                |             |             |                |
| 1  | PT23-503101828 | 150                  | 23                    | 6,5                    | 50             | 3,0                   | 48                   | 4        | 2,0                            | 211         | 61          | 40,5%          |
| 2  | PT23-503104118 | 200                  | 20                    | 10,0                   | 100            | 2,0                   | 36                   | 3        | 2,0                            | 248         | 48          | 24,1%          |
| 3  | PT23-801259885 | 400                  | 22                    | 18,2                   | 20             | 20,0                  | 18                   | 2        | 1,0                            | 247         | -153        | -38,3%         |
| 4  | PT2487-3313877 | 300                  | 25                    | 12,0                   | 40             | 7,5                   | 24                   | 2        | 1,0                            | 210         | -90         | -30,0%         |
| 5  | PT29-1305986   | 400                  | 17                    | 23,5                   | 30             | 13,3                  | 18                   | 2        | 1,0                            | 251         | -149        | -37,3%         |
| 6  | PT29-1307562   | 350                  | 55                    | 6,4                    | 150            | 2,3                   | 21                   | 2        | 1,0                            | 223         | -127        | -36,1%         |
| 7  | PT29-1307564   | 200                  | 55                    | 3,6                    | 150            | 1,3                   | 36                   | 3        | 2,0                            | 239         | 39          | 19,7%          |
| 8  | PT29-1323461   | 100                  | 25                    | 4,0                    | 50             | 2,0                   | 72                   | 6        | 4,0                            | 245         | 145         | 145,3%         |
| 9  | PT29-1323858   | 300                  | 45                    | 6,7                    | 150            | 2,0                   | 24                   | 2        | 2,0                            | 298         | -2          | -0,6%          |
| 10   | PT29-1323860   | 300                  | 45                    | 6,7                    | 150            | 2,0                   | 24                   | 2        | 2,0                            | 298         | -2          | -0,6%          |
| 11   | PT29-1351822   | 300                  | 12                    | 25,0                   | 40             | 7,5                   | 24                   | 2        | 1,0                            | 218         | -82         | -27,3%         |
| 12   | PT29-1357621   | 60                   | 15                    | 4,0                    | 40             | 1,5                   | 120                  | 10       | 5,0                            | 215         | 155         | 258,1%         |
| 13   | PT29-1377779   | 300                  | 15                    | 20,0                   | 40             | 7,5                   | 24                   | 2        | 1,0                            | 215         | -85         | -28,4%         |
| 14   | PT29-1385345   | 100                  | 18                    | 5,6                    | 40             | 2,5                   | 72                   | 6        | 3,0                            | 213         | 113         | 112,8%         |
| 15   | PT29-1386360   | 300                  | 21                    | 14,3                   | 40             | 7,5                   | 24                   | 2        | 1,0                            | 211         | -89         | -29,5%         |
|  |                | TAMAÑO PROMEDIO LOTE |                       | MEDIA DE PIEZAS / HORA |                |                       | MEDIA DE COSTO SETUP |          | CANTIDAD TOTAL DE CAMBIOS /MES |             |             |                |
|  |                | 251                  | 28                    | 11,1                   |                |                       | 39,0                 | 3,2      | 29                             |             |             |                |

Gráfico 13: Planilla de cálculo de lote económico, antes de SMED (vista parcial).

9.2.2. Lote económico y costo de setup por pieza. Aplicando SMED.

Posterior a la aplicación del SMED, logramos un tiempo de cambio de serie de una hora en promedio, y se mantienen constantes las demás variables.

Los resultados de lote económico para este tiempo de cambio de serie resultan:



| LOTE ECONOMICO CON SMED - CM VERTICAL YMC 1100 A |                     |             |           |                                |                |                     |                      |                      |          |                                  |                            |
|--|---------------------|-------------|-----------|--------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------------------|----------------------------|
|  | REFERENCIA          | LOTE ACTUAL | LE (SMED) | Dif (LE-LP)                    | Diferencia (%) | CTDAD DE CAMBIOS LE | LOTE ECON. TECNICO   | COSTO SETUP SMED     |          | TIEMPO TEORICO EN PRODUCCION (h) | CTDAD DE CAMBIOS MES LETec |
|  |                     |             |           |                                |                |                     |                      | [seg/pza]            | [\$/pza] |                                  |                            |
| 1  | PT23-503101828      | 150         | 149       | -1                             | -0,7%          | 2,0                 | 150                  | 24                   | 2,0      | 6,5                              | 2,0                        |
| 2  | PT23-503104118      | 200         | 175       | -25                            | -12,3%         | 2,3                 | 200                  | 18                   | 1,5      | 10,0                             | 2,0                        |
| 3  | PT23-801259885      | 400         | 175       | -225                           | -56,4%         | 2,3                 | 200                  | 18                   | 1,5      | 9,1                              | 2,0                        |
| 4  | PT2487-3313877      | 300         | 149       | -151                           | -50,5%         | 2,0                 | 150                  | 24                   | 2,0      | 6,0                              | 2,0                        |
| 5  | PT29-1305986        | 400         | 177       | -223                           | -55,7%         | 2,3                 | 200                  | 18                   | 1,5      | 11,8                             | 2,0                        |
| 6  | PT29-1307562        | 350         | 158       | -192                           | -54,9%         | 2,2                 | 175                  | 21                   | 1,7      | 3,2                              | 2,0                        |
| 7  | PT29-1307564        | 200         | 169       | -31                            | -15,3%         | 2,4                 | 200                  | 18                   | 1,5      | 3,6                              | 2,0                        |
| 8  | PT29-1323461        | 100         | 173       | 73                             | 73,5%          | 2,3                 | 200                  | 18                   | 1,5      | 8,0                              | 2,0                        |
| 9  | PT29-1323858        | 300         | 211       | -89                            | -29,7%         | 2,8                 | 200                  | 18                   | 1,5      | 4,4                              | 3,0                        |
| 10   | PT29-1323860        | 300         | 211       | -89                            | -29,7%         | 2,8                 | 200                  | 18                   | 1,5      | 4,4                              | 3,0                        |
| 11   | PT29-1351822        | 300         | 154       | -146                           | -48,6%         | 1,9                 | 150                  | 24                   | 2,0      | 12,5                             | 2,0                        |
| 12   | PT29-1357621        | 60          | 152       | 92                             | 153,2%         | 2,0                 | 150                  | 24                   | 2,0      | 10,0                             | 2,0                        |
| 13   | PT29-1377779        | 300         | 152       | -148                           | -49,4%         | 2,0                 | 150                  | 24                   | 2,0      | 10,0                             | 2,0                        |
| 14   | PT29-1385345        | 100         | 150       | 50                             | 50,5%          | 2,0                 | 150                  | 24                   | 2,0      | 8,3                              | 2,0                        |
| 15   | PT29-1386360        | 300         | 149       | -151                           | -50,2%         | 2,0                 | 150                  | 24                   | 2,0      | 7,1                              | 2,0                        |
| CANT DE SETUPS / PZA                             | PEDIDO DIARIO MEDIO |             |           | CANTIDAD TOTAL DE CAMBIOS /MES |                |                     | TAMAÑO PROMEDIO LOTE | MEDIA DE COSTO SETUP |          | CANTIDAD TOTAL DE CAMBIOS /MES   |                            |
| 2,22   | 5650                | 251         |           | 33,3                           |                |                     | 175                  | 21,0                 | 1,7      | 32,0                             |                            |

Gráfico 14: Planilla de cálculo de lote económico, luego de la aplicación del SMED (vista parcial).

Vemos que en promedio las diferencias entre Lote Económico y Lote Productivo se achican, lo cual podría estar indicando que se utilizaban valores de disponibilidad mayores a los que resultan de una medición más precisa, que contemple la real duración de los tiempos de cambio de serie y su influencia en la disponibilidad de la máquina.

Se define el lote económico técnico, que es el tamaño de lote que se precisa en función del resultado del lote económico, pero redondeado a fines prácticos de producción.

Resultados de costo de setup por pieza producida promedio, con SMED:

- En tiempo de CS, segundos por pieza producida: **21 seg/pieza.**
- En dinero, pesos costo de CS por pieza producida: **1,7 \$/pieza.**

La cantidad de cambios de serie se incrementa a 32, lo que implica un incremento del 10,3 %.

En el **Anexo 4**, se listan en detalle los cálculos del lote económico para cada caso y los resultados de incremento de capacidad productiva, pasando de máquina saturada a máquina con disponibilidad. Estos cálculos son realizados sobre el centro de mecanizado vertical únicamente, ya que el ejemplo es válido para ambas máquinas y no se utilizan para ellos datos de la empresa.

**Anexo 4 (A)** – Cálculo lote económico – Sin SMED (pág. 103)

**Anexo 4 (B)** – Cálculo lote económico propuesto – Con SMED (pág. 104)



**Anexo 4 (C)** – Detalles de cálculo lote económico propuesto, parte 1 (pág. 105) y 2 (pág. 106)

9.2.3. Análisis de resultados.

| ANALISIS TAMAÑO DE LOTE |         |          |          |           |
|-------------------------|---------|----------|----------|-----------|
| VARIABLE                |         | SIN SMED | CON SMED | Variación |
| COSTO<br>PROMEDIO SETUP | seg/pza | 39,0     | 21,0     | -46,2%    |
|                         | \$/pza  | 3,2      | 1,7      | -46,2%    |
| CANTIDAD SETUP          |         | 29       | 32       | 10,3%     |
| TAMAÑO MEDIO LOTE       |         | 250,7    | 175,0    | -30,2%    |

Costo promedio de setup:

- Ya sea el costo en tiempo medido en segundos invertidos de setup por pieza y en pesos de costo de setup por pieza; se obtiene idéntica reducción de 46%.

Cantidad de setups:

- Se incrementa en aproximadamente un 10% la cantidad de setup, este es un resultado esperado debido a la reducción del tamaño de lote alcanzada, combinado con el valor constante de la demanda de necesitar cumplir con la misma demanda de piezas. Aun así, como es mayor en proporción la reducción del tiempo de setup, el tiempo total invertido en el cambio de serie sigue siendo mucho menor.

Tamaño medio de lote:

- La reducción del tamaño medio de lote es de un 30%, como resultado de aplicar SMED y el redimensionamiento del lote aplicando la fórmula de lote económico. Esta reducción media de lote es la que permite flexibilizar la producción y permitir un mix más amplio de productos fabricados por jornada laboral, entregando mayor cantidad de productos en lotes de menor tamaño.

