

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

Metodología para identificar y reducir estupe orfícos y seleccionar  
efectivas de uso para los tiempos liberados.

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD

POR:

OMAR ORTIZ PARGA

MONTERREY, N. L.

MAYO DE 2004

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.**

*Metodología para identificar y reducir setups críticos y seleccionar  
alternativas de uso para los tiempos liberados.*

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**POR:**

**OMAR ORTIZ PARGA**

**MONTERREY, N. L.**

**MAYO DE 2004**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY\***

**Metodología para identificar y reducir setups críticos y seleccionar alternativas de uso para los tiempos liberados.**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**POR:**

**OMAR ORTIZ PARGA**

**MONTERREY, NL.**

**MAYO DE 2004**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

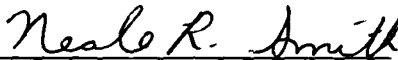
**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Omar Ortiz Parga sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en ciencias en Sistemas de Calidad y Productividad  
Especialidad en Productividad y Optimización**

Comité de tesis:



Dr. Neale Ricardo Smith C  
Asesor




Dr. Rafael Bourguet D  
Sinodal



Dr. Miguel Ángel Narro L  
Sinodal

Aprobado:



Dr. Federico Viramontes Brown  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería

Mayo, 2004

## **ARTICULO 1**

**OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO A LA FILOSOFÍA  
DE LA MANUFACTURA ESBELTA POR MEDIO DE LA REDUCCIÓN EN LOS  
TIEMPOS DE PREPARACIÓN.**

## OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO A LA FILOSOFÍA DE LA MANUFACTURA ESBELTA POR MEDIO DE LA REDUCCIÓN EN LOS TIEMPOS DE PREPARACIÓN.

Omar Ortiz Parga

### I. Resumen.

Uno de los principales factores de éxito en las organizaciones manufactureras actuales es el óptimo desempeño en sus operaciones de producción. Para conseguir niveles adecuados de trabajo los órganos manufactureros han puesto en práctica métodos esbeltos de manufactura con el fin de propiciar una manufactura sin desperdicios y contribuir al logro de los objetivos empresariales. Las empresas de hoy buscan satisfacer las necesidades cambiantes del mercado lo que se puede conseguir mediante la flexibilidad de las líneas de producción y la reducción de los tiempos de entrega, aspectos que pueden ser conseguidos por medio de la implantación de una metodología que promueva la generación de sistemas de producción esbeltos, mediante la reducción en los tiempos de preparación, cumpliendo con los principios de la Manufactura Esbelta (ME), con la idea de la generación de niveles esbeltos de operación, que permitan la reducción de los tiempos de setup, con lo que se puede conseguir la reducción de los tiempos de ciclo, la reducción de los inventarios, la reducción del tamaño de lotes, la reducción de los costos de producción, el aumento en la flexibilidad de la operación, además del aumento en la frecuencia de producción para distintos productos, todo bajo el punto de vista de la ME, que busca la reducción o eliminación de los desperdicios [20].

En la estructura del actual artículo se presentan los conceptos básicos de la filosofía de la ME y las herramientas usadas por esta para contribuir con un desempeño óptimo de las actividades de producción. Además de la exposición de la forma en la que un esquema orientado al mejoramiento en los niveles de desempeño de los sistemas productivos, por medio de la reducción de tiempos de preparación o setups, apoyado en la filosofía de la ME, ofrece un resultado benéfico en cuanto al desempeño de las organizaciones y sus procesos productivos. Se presenta un panorama general de la optimización en los sistemas de producción por medio de la implementación de formas para promover operaciones sin desperdicio como la reducción de los tiempos de setup, bajo la perspectiva de un sistema esbelto de manufactura o de acuerdo a la idea de la ME.

Mediante la práctica de una metodología en donde se describe como localizar los tiempos de preparación o setup críticos para los procesos productivos con relación a los requerimientos de los clientes, además de la manera en la que se puede disminuir la duración de tales tiempos de preparación por medio de herramientas esbeltas de mejora, como el Single Minute Exchange of Die (SMED) y la idea del mejoramiento continuo al prolongar la búsqueda de áreas de oportunidad por medio de reducciones en los nuevos tiempos de preparación

críticos dentro de los procesos productivos. Así como la determinación del uso futuro del tiempo horrado por las acciones de mejora realizadas, de acuerdo a las necesidades de operación de las organizaciones

## II. Introducción.

La industria manufacturera de nuestros días necesita ser capaz de atender las necesidades cambiantes de los mercados. Los clientes hoy día demandan productos a bajo precio, productos de alta calidad y tiempos de entrega bajos. Por lo que las empresas deben alcanzar niveles esbeltos de manufactura si es que quieren permanecer en el mercado, para lograr estos niveles de desempeño las organizaciones deben realizar la producción con lotes pequeños y con procesos flexibles. Es por esto que con los múltiples setups que presentan en los procesos productivos, los cuales representan una parte considerable del tiempo total de producción [16], las empresas de hoy no se puedan permitir el lujo de perder tiempo valioso de producción en tiempos de setup. Por lo que para cumplir con los requerimientos de los clientes, la reducción de los tiempos de setups es indispensable para incrementar la disponibilidad de producción. Es por ello que en la búsqueda de niveles óptimos de desempeño la industria manufacturera hecha mano de la ME y su filosofía para lograr una producción sin retrazos o desperdicios.

Una de las formas para lograr la disminución de uno de estos desperdicios, como lo es el tiempo de preparación o setup requeridos para las actividades de producción, se puede llevar a cabo de manera adecuada y cumpliendo con la ME, por medio de la implantación de una metodología que permita identificar los setups críticos para los procesos productivos, además de combatirlos con el fin de poder disminuirlo por medio del uso de herramientas esbeltas como el SMED, el cual se encarga de la disminución de los tiempos de setup contenidos en los sistemas de producción. Un aspecto relevante a ser considerado luego de la generación de acciones de mejora para la disminución de los tiempos de preparación, es la determinación de las actividades a ser realizadas con los tiempos ahorrados, por lo cual la metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción debe considerar alternativas de uso para estos tiempos con el fin de contribuir a la mejora del desempeño en las organizaciones. Además de promover la reproducibilidad de la metodología de mejora para conseguir un constante movimiento hacia niveles esbelto de operación como una idea de mejoramiento continuo a través del tiempo.

## III. Conceptos de Manufactura Esbelta.

En esta sección se presenta una descripción de los orígenes de la ME, así como los conceptos que envuelven la idea de la ME y el uso que se le da actualmente.

El concepto de ME es creado por Toyota por la década de los años 50's. Bajo la idea fundamental de la eliminación de la operaciones en donde no se agregara valor al proceso productivo [4]. La ME desarrollada por Toyota logro el reconocimiento internacional cuando

se demostraron sus beneficios en comparación con las técnicas de manufactura usadas por Estados Unidos de América. Las mejoras de la ME fueron tales como la reducción del esfuerzo humano, el aprovechamiento de los espacios de manufactura, la creación de herramientas, menores tiempos de ciclo y dramáticos incrementos en los niveles de calidad de hasta 500 %, con respecto a EUA [16].

La ME usa una serie de herramientas encaminadas hacia la optimización de las operaciones, en donde se buscan mínimos tamaños de inventarios y reducción de tiempos de ciclo. Es una forma de administrar en donde se atacan los problemas desde el punto de vista de que tales contratiempos representan un desperdicio que debe ser eliminado de la operación [14]. Es importante considerar las características de las organizaciones en las que se pretende el uso de la ME, como elemento importante en el éxito de la implantación de la ME [13].

La definición de la ME está dirigida a la eliminación de los desperdicios en todas y cada una de las áreas de producción de una organización. Estas incluyen la relación con los clientes, el diseño de los productos y la producción misma, además de la cadena de suministro y la propia administración de las fábricas. Se tiene como principal objetivo para lo anterior el uso del mínimo esfuerzo humano, con un mínimo nivel de inventarios, menores tiempos de operación de los productos y un mayor aprovechamiento de los espacios en el piso de producción, lo cual proporciona un alto desempeño en cuanto a los resultados que los clientes esperan. Además se produce con altos niveles de calidad contando con procesos efectivos y a bajos costos de producción [6].

Para que la manufactura esbelta pueda ser concebida dentro de cualquier organización productiva es necesario visualizarla más que como un simple conjunto de herramientas aisladas que ayudan al negocio a lograr sus objetivos empresariales. Hoy en día, en un entorno globalizado, la mejora continua es requerida por las organizaciones para el logro de sus metas. Las empresas tratan sistemáticamente que todos sus procesos puedan ser llevados hasta su culminación de manera satisfactoria [2].

La ME es una de las mejores prácticas para alcanzar mayores niveles de productividad y competitividad. Su efectividad se basa en cuatro elementos clave que son:

- Estructura del sistema
- Mecanismos de Control
- Eliminación del Desperdicio
- Empowerment

Con respecto a la estructura del sistema la ME debe considerar el trabajo o los métodos estandarizados dentro de las operaciones en las líneas de producción, por lo que se deben tomar en cuenta los recursos humanos con los que cuentan las organizaciones, también hay que tomar en cuenta los materiales que se han de usar para la realización de los procesos de



manufactura y finalmente considerar el factor de las maquinas y los equipos que el personal utiliza para la realización de la producción.

Para estandarizar el trabajo existen cuatro elementos importantes que son:

- Ritmo: En donde nos referimos a los tiempos de ciclo de los procesos.
- Tono: Que tiene que ver con la calidad del producto.
- Armonía: Integración del equipo que interviene en el proceso de manufactura.
- Trabajo estándar: Es la forma con la que se pretende obtener lo máximo, con los mínimos recursos utilizados.

Para una estandarización de los trabajos a lo largo y ancho de toda la organización, se debe procurar el uso de procedimientos estándar de operación, instrucciones de trabajo, señalizaciones, etc. Esto permite sin duda que las operaciones arrojen mejores resultados, como los descritos a continuación:

- La mejor forma de realizar un trabajo.
- Conservar conocimiento.
- Métricas para los procesos.
- Relaciones causa efecto.
- Mejora continua.
- Bases para la administración del conocimiento.

Con esta búsqueda de un trabajo estandarizado la ME pretende que los resultados de los procesos productivos sean los esperados por las organizaciones manufactureras. Sin embargo se debe considerar también que dentro de todo sistema de producción los errores pueden ocurrir en cualquier momento, lo cual es considerado por la ME. Siendo por esta razón que la ME presente una serie de adecuaciones, con el fin de atacar tal efecto. Estas adecuaciones son conocidas como Poka Yoke o a prueba de errores, los cuales son métodos desarrollados por Shigeo Shingo a partir de los años 60's. Tal herramienta consiste en la prevención y detección de errores lo más pronto posible. El Poka Yoke no debe representar dificultad de uso.

Un aspecto relevante para el funcionamiento de este tipo de adecuaciones es que los operarios cuenten con la autorización del paro de la línea de producción si es que se ha detectado un error que el Poka Yoke no pueda solucionar, evitando al máximo los desperdicios por fallas ocurridas durante las actividades del proceso [2].

Otro concepto para la prevención de los errores es el Jidoka, el cual es una adecuación análoga al Poka Yoke, pero con la particularidad del uso de automatización. La idea de este

elemento es la transferencia de la inteligencia humana a la maquina con el fin de la prevención de defectos.

Un elemento más del sistema para la prevención de defectos usado por la ME es el Andón, el cual permite un control visual de las operaciones por medio de signos, códigos, colores, con el fin de conocer la manera en la que se da la operación al momento.

Comúnmente este elemento usa indicadores luminosos para determinar las condiciones del proceso (verde en buen estado, amarilla si se requieren ajustes en el proceso y roja cuando se necesita el paro de la operación).

El Andón inicia un sistema de comunicación visual entre las operaciones, en donde se deben observar los estándares de proceso, sistemas de respuesta, propuestas para la calidad de la fuente, el registro de los problemas, además de presentar una visión global para la toma de acciones que permitan apoyar el desempeño de las actividades de producción [9].

La ME además de propiciar que se cuente con sistemas de trabajo estandarizados y procurando la mínima o nula presencia de fallas en la operación, se preocupa también de la reducción de los tiempos de ciclo de las operaciones de producción.

Para el fin de la reducción de los tiempos de ciclo la manufactura esbelta cuenta con la metodología del sistema Justo a Tiempo. En el cual básicamente se busca el mantener un sistema de producción esbelto, es decir se quiere cumplir con los siguientes puntos [1]:

- Cero en defectos.
- Cero en exceso en el tamaño de los lotes.
- Cero en tiempos de preparación.
- Cero en paros de la producción.
- Cero manejo de material en transporte.
- Cero en inventarios en proceso.
- Cero en sobrecargas de producción.

El concepto de Justo a Tiempo presenta la idea básica de que dentro y fuera de las organizaciones se presente la entrega de los materiales usados para fines de manufactura al momento mismo de que estos sean requeridos y sólo en las cantidades en las que se necesiten.

Para que el concepto de Justo a tiempo pueda funcionar en las empresas, estas deben utilizar sistemas de producción basados en el enfoque de "jalar", lo cual permite la reducción del inventario en proceso. La idea básica es que una estación de trabajo jale requerimientos de la anterior, esto a través de todo el sistema de producción hasta llegar al final. La aplicación de esta idea da como resultado que se produzca solo lo que se esta demandando producir.

Bajo el concepto anterior, lo mejor para el proceso sería una pieza cada vez en cada estación de trabajo, sin la necesidad de mantener inventario de producto en el proceso. Sin embargo, una estación con cuello de botella siempre debiera contar con más de una unidad delante de la misma con el propósito de que nunca se pare por falta de material.

Con un sistema de producción de este tipo se disminuirían los tiempos de ciclo, los errores, los materiales y se aumentaría el grado de satisfacción de los clientes, tanto internos como externos. Cabe señalar que el flujo de una sola pieza cada vez no siempre es la mejor opción. Mas bien la mejor opción en cuanto al manejo de las piezas a producir depende de las necesidades particulares de cada proceso que se estudie.

El concepto de la producción Justo a Tiempo se basa en el ritmo en que se de la producción, además de la forma en la que se lleva a cabo la operación, por lo que debe usarse el concepto de "Takt Time", el tiempo de ciclo que toma la producción de una pieza, considerando también la capacidad de las maquinas en la línea de producción de manera que el ritmo de producción sea soportado por la capacidad de estas [10].

El método de producción de Justo a Tiempo, puede darse gracias al concepto de Kanban. El sistema de kanban es un concepto desarrollado por Toyota. El concepto principal del Kanban es que se de un flujo de producción sin interrupciones en lo posible, además se procura que las líneas de producción siempre se encuentren utilizadas [5]. El sistema de producción Kanban esta basado en la idea de la autorización en la tasa de entrada de piezas a ser producidas dentro de un sistema de producción. Es entonces un concepto de jalar la producción, a diferencia de los sistemas de manufactura en los cuales se trata de la programación de la producción bajo la idea de empujar las operaciones de los sistemas manufactureros sin importar las condiciones de operación de las partes de un sistema de producción [10].

Kanban es conocer la información del proceso a través del mismo. Kanban se representa por una tarjeta en donde se especifica la cantidad de partes que se requieren para la operación. La estación de trabajo posterior se comunica con la estación que la precede por medio del Kanban con el objetivo de informarle lo que requiere y en que cantidades. Entonces el proceso anterior es responsable de suministrar los requerimientos del siguiente proceso. Las tarjetas de Kanban también se denominan tarjetas de movimiento.

Las tarjetas de Kanban permiten también a los operarios de las estaciones de trabajo conocer las cantidades de artículos que se van a producir, ya que estos solo pueden elaborar un numero de piezas de acuerdo a la cantidad de material que le sea entregado. Cuando la estación de trabajo se queda sin material para trabajar es porque la demanda de producción ha sido satisfecha o porque no se le ha entregado material para continuar con la operación. Aquí es cuando el Kanban de movimiento funciona, ya que las tarjetas pasan de una estación a la estación anterior en señal de que se requiere mas material para seguir con la producción y en el

momento en que la tarjeta deja de circular es porque la demanda de producción de la línea ha terminado.

Una representación grafica del uso de las tarjetas Kanban en un sistema manufacturero se representa en la figura 1 [1].

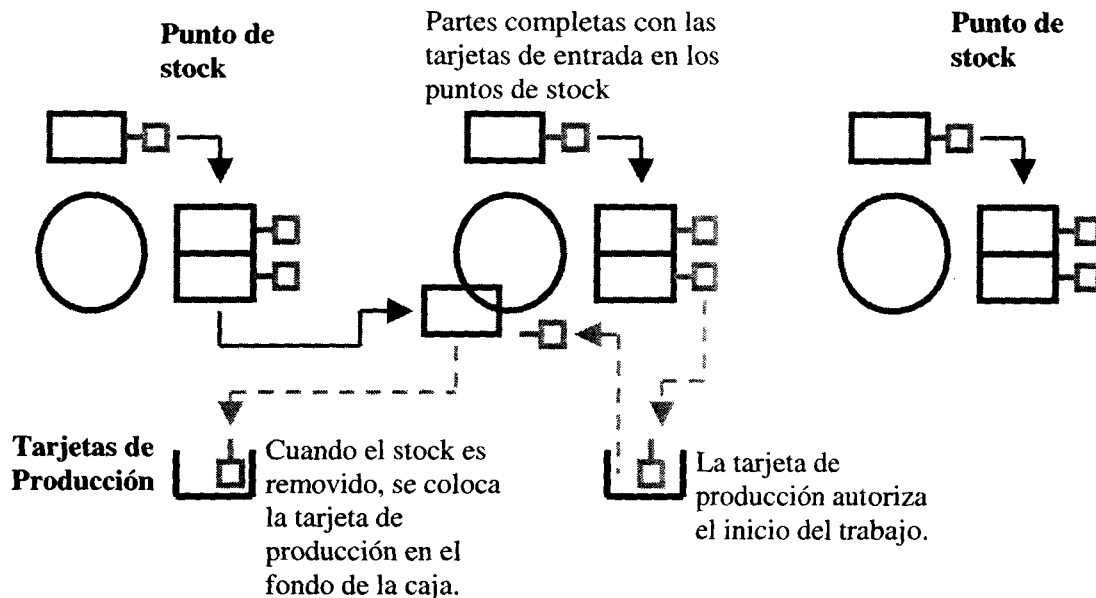


Figura 1 Tarjetas kanban.

Otro método para los sistemas de producción dentro del enfoque de la filosofía de la manufactura esbelta, es el tipo de producción Conwip. Al igual que el tipo de producción tipo Kanban esta basado en la idea de jalar la producción y no de empujarla.

Este tipo de sistema de producción cuenta con la particularidad de tomar ventaja de las rachas buenas y malas de la producción. Es decir, si los requerimientos de producción son bajos, entonces la producción que entra al sistema será baja y alta si se aumenta el nivel de entrada de producción.

Una representación grafica del sistema de producción tipo Conwip se presenta en la figura 2, en donde se muestra la manera e la que el Conwip se desempeña dentro de una línea de producción [1].

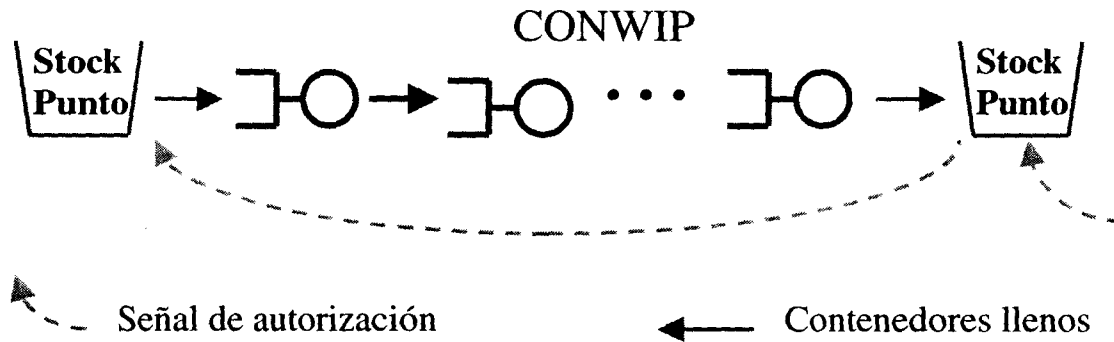


Figura 2 Conwip.

El mecanismo del sistema Conwip permite la entrada de piezas a un sistema de producción, siempre y cuando haya salido una pieza del sistema de producción. El sistema logra que los niveles de inventario siempre se mantengan constantes de acuerdo con los requerimientos en la línea de producción. De tal manera que el Conwip contribuye con el control de la producción permitiendo una mejor calidad de la producción.

Algunos de los beneficios que conlleva la implementación del Conwip, son los siguientes:

- El entorno de la producción se controla por si mismo.
- Los detalles de la producción, deben ser estratégicamente importantes.
- El control de los inventarios en proceso.
- Dar importancia a la velocidad y la flexibilidad de los procesos manufactureros.
- Dar importancia a la calidad de la producción.
- La mejora continua como fundamento de la supervivencia de los procesos [1].

Otro factor a considerar dentro de la estructura del sistema es el mantenimiento preventivo total, el cual esta basado en el desarrollo y la aplicación de mantenimiento preventivo y cuenta con una base de datos del historial del mantenimiento realizado.

El mantenimiento cobra importancia al poder estimar los periodos de falla y reparación de la maquinaria, lo cual permite la disminución de los desperdicios. Es importante que el mantenimiento sea realizado por los operarios de la maquinas, ya que son ellos los que mejor conocen el comportamiento de los equipo que operan [2].

El elemento de la eliminación del desperdicio que considera la filosofía de la ME esta dedicado principalmente a la detección de las causas por las que se generan los desperdicios y a ofrecer alternativas para eliminar estas causas. Se denomina desperdicio a todas las actividades que no agregan valor en la producción de bienes o servicios.

La ME considera los siguientes tipos de desperdicios:

- Por sobreproducción
- Por tiempo de mano de obra
- Por tiempo de preparación
- Por transportación
- Por proceso mismo
- Por inventario
- Por movimiento
- Por productos defectuosos
- Por Inestabilidad
- Por enfoque
- Por estructura
- Por propiedad

Para la eliminación de los anteriores desperdicios la filosofía de la ME se basa en conceptos tales como el Kaizen y el SMED [10].

El Kaizen es una idea que se basa en el mejoramiento continuo con el fin de asegurar el logro de las metas de las organizaciones a largo plazo. Sus principales acciones son el mantenimiento de la tecnología, de la administración, además de procedimientos y disciplinas de la organización, también contribuye con el mejoramiento de las operaciones para que se pueda obtener un óptimo desempeño en las empresas [8].

El Kaizen debe desprenderse de ideas tradicionales y en cambio pensar en como se han de hacer las cosas y no en el porque no se realizan [7]. De igual manera el Kaizen debe crear dentro de las organizaciones la base para eliminar los pretextos y los desperdicios que impiden la buena realización de las tareas productivas [12].

El Kaizen es un detonante del cambio, las organizaciones deben entender mediante el Kaizen que hay que hacer las cosas aunque no se concluyan, pero entrar en el proceso de cambio al instante. Otra función del Kaizen es la corrección inmediata de los errores y la idea del uso de la experiencia y la sabiduría para la eliminación de los problemas que se presenten, el preguntar porque hasta cinco veces y el entender que diez personas piensan mas y mejor que una [5].

Uno más de los elementos de la ME es el Empowerment, el cual busca que se mantenga un buen desempeño dentro de los sistemas de producción al considerar a las personas y hacer que trabajen en equipo con la disposición de hacer las cosas de manera proactiva y orientada a la eliminación de desperdicios en los procesos de trabajo [3]. Lo importante es poder lograr que el factor humano logre integrarse a las demandas de la ME, sin que exista una resistencia tal que afecte las actividades de la ME [12].

Con el Empowerment la ME logra que las organizaciones den a las personas libertad para que puedan tomar decisiones que contribuyan al logro de los objetivos esperados por las empresas [15]. La práctica del Empowerment proporciona a las empresas un esquema de mejoramiento en sus sistemas de producción, algunos de estos se mencionan a continuación:

- La mejora constante de la calidad del trabajo realizado en la empresa.
- El aumento en las habilidades para la realización de las operaciones.
- La búsqueda por la innovación y la creatividad.
- El control de las decisiones acerca de las operaciones realizadas por el personal operativo.
- La ejecución de tareas completas.
- El trabajo orientado a la satisfacción de los clientes

Con las anteriores mejoras, el Empowerment pretende mantener un desempeño acorde con los principios de la ME [2].

La ME es una forma de pensar dentro de cualquier organización, una forma de actuar. Es la búsqueda de una operación en donde no existan detractores, en donde el desperdicio sea el mínimo posible, la variación de los procesos sea pequeña o nula, los niveles de inventario de acuerdo a las necesidades de las organizaciones, la reducción de los tiempos de ciclo, minimizar los costos de operación, además de buscar menores costos por almacenaje.

En lo que respecta al SMED la ME hecha mano de él, con el fin de usarlo como una estrategia de mejora que permite la reducción de los tiempos de setup. Los orígenes del SMED, datan desde 1950 cuando Shigeo Shingo da el primer paso para el desarrollo del SMED con el concepto básico de la disminución de los tiempos de setup mediante la división de los tiempos de setup en internos y externos. Considerando a los setups internos como las operaciones que se realizan cuando la maquinaria se encuentra detenida y considera que los setups externos son los que se realizan cuando la maquinaria esta en movimiento. Lo cual es indispensable para la puesta en marcha de la metodología del SMED. Esta es la propuesta que ha hecho posible la reducción de los tiempos de ciclo a más de la mitad y la conversión de los tiempos internos a externos [17]. En 1969 en Toyota, Shigeo Shingo se dio a la tarea de reducir los tiempos de preparación para el cambio de prensas, ya que estos tiempos de

preparación tomaban 4 horas, mientras que la misma operación en la planta de Volkswagen en Alemania tomaba un tiempo de 2 horas. La misión era no solo bajar el tiempo de 4 horas a 2, sino bajarlo a media hora, lo cual se logró después de seis meses de trabajo convirtiendo los tiempos internos a externos en el cambio de las prensas. Un mes después Toyota se fijó la meta de las reducciones de este tiempo de setup de media hora hasta llegar a 3 minutos, lo cual una vez más se consiguió en un tiempo de tres meses gracias al principio del SMED con la conversión de los tiempos de setup internos en externos [17].

El SMED básicamente divide los setups en externos los cuales se llevan a cabo durante la operación de la máquina y setups internos que son realizados cuando la máquina se encuentra detenida. La meta del SMED es la reducción de ambos setups al mismo tiempo de que busca la conversión de los setups internos en externos. El SMED permite el aumento de la competencia de las organizaciones manufactureras al reducir los tiempos de entrega, disminuyendo los costos de operación, bajando los niveles de inventario, disminuyendo los tamaños de lotes de producción y aumentando la flexibilidad de las líneas de producción. El SMED es una parte de la ME por lo que comparte los principios de los sistemas esbeltos buscando influir positivamente en el desempeño de un proceso productivo y ayudando al logro de las metas y objetivos organizacionales. Es por esta razón que al SMED se le considera como el corazón de las estrategias de mejora de Toyota [17].

Las etapas básicas para la reducción de los setups son [17]:

- Entender el proceso de las actividades contenidas en los setups.
- Separar setups internos y externos
- Convertir setups internos en externos
- Perfeccionar los procesos contenidos en los setups

En la figura 3, se representa un esquema general del proceso del SMED [11].



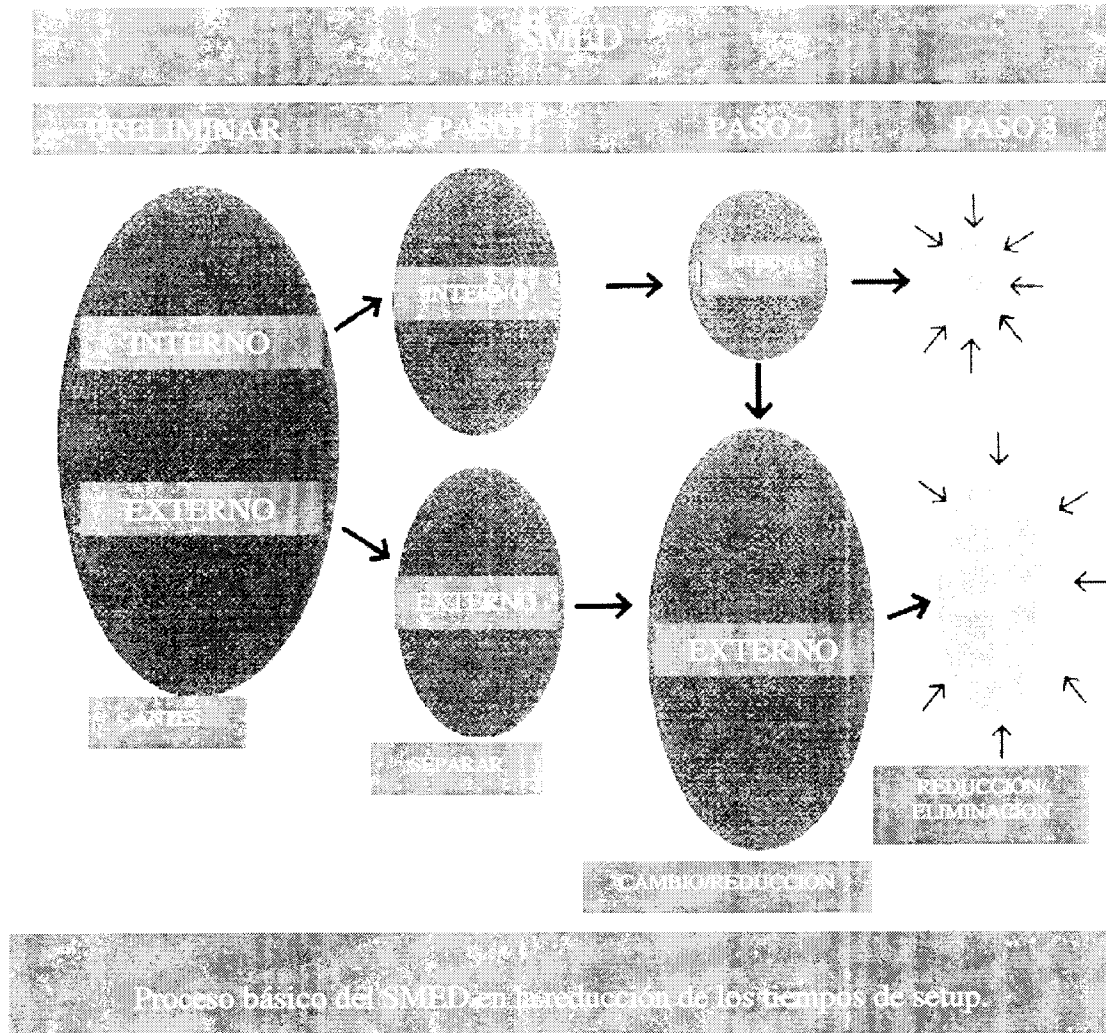


Figura 3. Proceso del SMED

La filosofía del SMED permite [23]:

- Creer que los tiempos de setup se pueden acortar.
- Creer que se puede lograr la reducción de los setups cambiando actividades, procesos y herramientas usadas durante los mismos.
- Creer que la participación de los empleados en la reducción de los setups es vital.
- Creer en la localización de ajustes observados en los setups y eliminarlos.
- Creer que la calidad de los productos manufacturados puede verse beneficiada con la reducción de los setups.

El SMED promueve la innovación en los procesos de producción, básicamente siguiendo el proceso de separar los setups internos y externos, para luego convertir los setups internos en externos y finalmente mejorar continuamente los elementos internos y externos. Es por esta razón que al SMED se le considera como el corazón de las estrategias de mejora de Toyota [17].

La ME esta encargada de disminuir desperdicios, tales como los tiempos de ciclo desde las ordenes de los clientes hasta la entrega de los productos, la reducción de costos de producción, de los tiempo de ciclo, de las actividades que no agregan valor, con el fin de obtener un nivel de competencia mas alto para las organizaciones manufactureras que les permitan un nivel de respuesta rápido a los requerimientos cambiantes del mercado.

La ME debe ser considerada de manera sistémica en donde se integra la idea de la eliminación del desperdicio con el uso de sistemas de solución de problemas. Es indispensable que se observe dentro del negocio en su totalidad, el trabajo que ahí se realiza, todas las actividades y los flujos de la organización, con el propósito de establecer una alta relación entre los *que* y los *como*, que nos conducen a realizar acciones y reflexionar, con el fin de la creación de una verdadera organización que se desarrolle bajo la filosofía de la ME [4]. Lo anterior puede ser observado claramente en la figura 4.

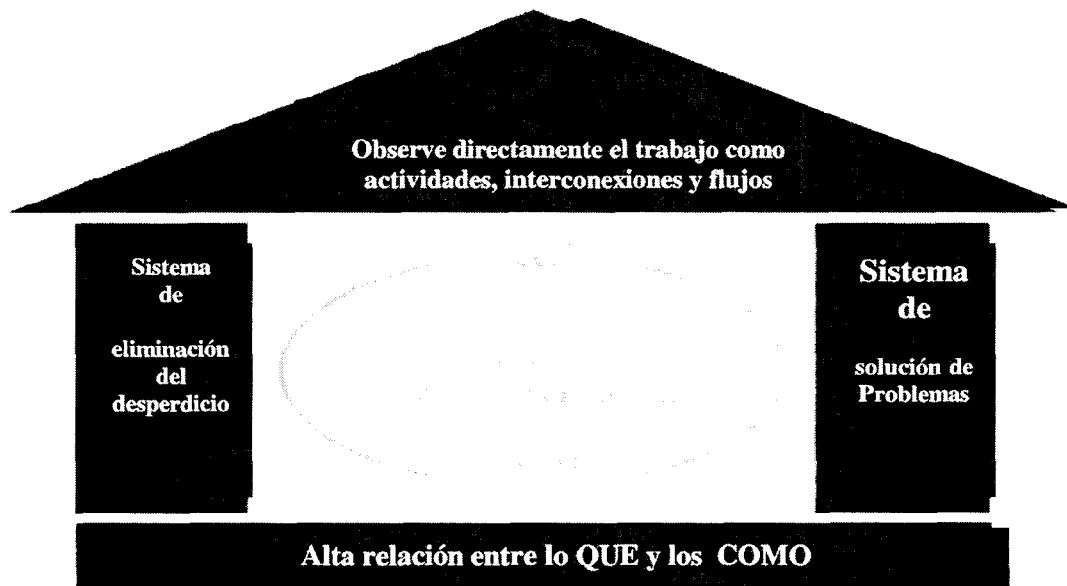


Figura 4 Organización esbelta.

La ME hecha mano de las herramientas ya mencionadas con el fin de controlar los factores que afectan el desempeño de los sistemas de producción, con el propósito de obtener estándares óptimos de desempeño. Por lo anterior se puede entender la importancia de la ME en cuanto a los resultados que se pueden alcanzar por las organizaciones que decidan utilizar sus herramientas con el fin de controlar factores que aparecen en los procesos de manufactura.

La ME es una fórmula para que las empresas logren mejores resultados en las operaciones, con lo que se puede conseguir los objetivos de las organizaciones [4].

#### IV. Metodología para promover sistemas esbeltos de producción disminuyendo los tiempos de preparación para las actividades de producción.

En esta sección se presenta un enfocando de la idea central del presente documento que es presentar una metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción como propuesta de solución para evitar desperdicios de acuerdo a la filosofía de la ME. Por medio de la identificación de los tiempos críticos de preparación para las actividades en los sistemas productivos, el combate del desperdicio ocasionado por estos tiempos de preparación con ayuda de herramientas de mejora como el SMED, la selección de actividades a realizar con los nuevos tiempos disponibles y la promoción la búsqueda constante y sistemática de nuevos setups críticos para los procesos productivos. De tal forma que se pueda ver una metodología desde la identificación del setup crítico a combatir pasando por el proceso de mejora y reducción del setup, hasta la selección del uso de los nuevos tiempos disponibles y el proceso de mejora continua para la reducción de los nuevos setups críticos para los sistemas de producción.

##### Metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción

- Formar equipo de personas con una buena comunicación para la identificación y reducción de los setups críticos en los procesos productivos, además de la identificación y selección de alternativas para el uso de los nuevos tiempos disponibles y la promoción de una constante generación de ideas para la mejora continua de las operaciones.
  - Integrar un equipo multidisciplinario y comprometido con el proyecto de mejora para la identificación y reducción de setups críticos, en donde cada integrante del equipo debe hacerse conciente y responsable de las acciones a tomar para mejorar el desempeño operacional [21], además de participar en la selección de la utilización para los nuevos tiempos disponibles de acuerdo a las necesidades organizacionales y la constante búsqueda de nuevos setup críticos y continuar con el proceso de mejora en las organizaciones. Todos los miembros del equipo deben estar relacionados de alguna forma con el proyecto a realizar, además se

debe contar con un líder de equipo, el cual se propone sea el dueño del proceso en donde se llevará a cabo la aplicación de las acciones de mejora.

- Identificar setups críticos, analizando tiempos de setup y determinando el porcentaje de tiempo de los setups con respecto al tiempo de ciclo.
  - Analizar el impacto de los setups en cuanto al óptimo desempeño de la operación, lo cual se puede determinar por medio de algunas técnicas como un estudio de causa – efecto, pruebas estadísticas de significancia, estudio A,B,C entre otras formas. Para la metodología de generación de sistemas esbeltos de producción, expuesta en este documento se propone la técnica del estudio A,B,C, el cual contribuye a la determinación de los tiempos de preparación críticos para los procesos productivos y por lo tanto punto de partida para la práctica de la metodología de promoción de sistemas de producción esbeltos. De tal manera que sea posible la identificación de los setups críticos para los procesos productivos, además de la determinación del tiempo total perdido por efecto de los setups en cada pieza producida. El estudio A,B,C permite contar con una visión para entender que setup debe considerarse como candidato a mejorar, por ejemplo puede no ser necesario considerar la mejora de setups que ocurren una vez al año o los que son frecuentes pero poco significativos para los tiempos de ciclo. El estudio A,B,C expone que es más efectivo el concentrarse en los elementos importantes y no en los triviales, de tal forma que el método A,B,C es una manera eficaz de la distinción de los elementos importantes. Generalmente la definición de los elementos críticos en los cuales se deben realizar las propuestas de mejora son los que representan un beneficio significativo en cuanto a la mejora a realizar [17].

Una representación gráfica del estudio A,B,C se presenta en la figura 5, en donde se expone la identificación de elementos más importantes con la letra A, los cuales presentan mayor área de oportunidad, los demás elementos decrecen en cuanto al beneficio que se pudiera obtener al realizar alguna alternativa de mejora desde B, hasta C.

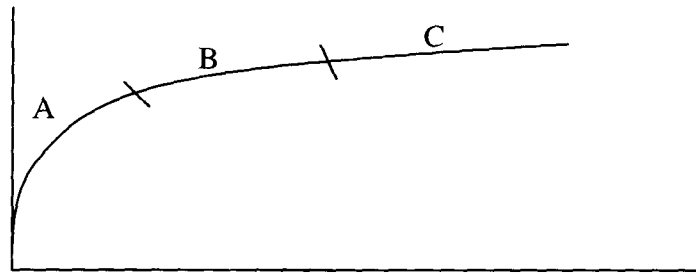


Figura 5 Estudio A,B,C

Un estudio A,B,C considera la clasificación de acuerdo al razonamiento de un 20% de los elementos a estudiar generan el 80% del costo de mantenerlos [17].

- Documentar procesos actuales.
  - Entender los aspectos relevantes de los procesos de producción en donde se realizará el proyecto de mejora. Esto puede ser realizado mediante el uso de diagramas de operación, diagramas de flujo, diagramas de bloques, en fin cualquier medio que permita la comprensión del sistema de producción.
  
- Entender el proceso del setup.
  - Determinar la manera en la que se da la realización de operaciones en los setups, para lo cual se puede usar la herramienta de los 5 porqués y un como, que aunque parezca una herramienta simple, puede resultar fundamental para el entendimiento de la manera en la que se comportan el proceso, además de que puede representar un factor importante en la selección de las alternativas de mejora para la reducción de los tiempos de setup [17]. La estructura de esta herramienta se observa en la figura 6.

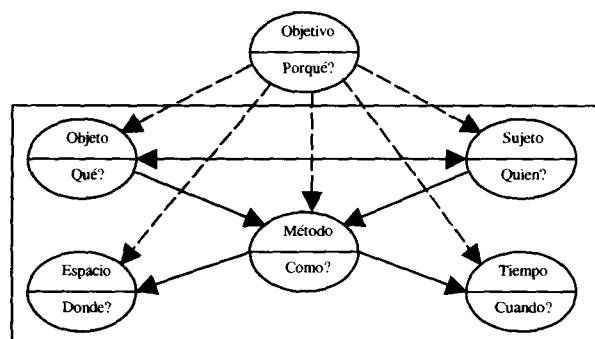


Figura 6 Elementos para la comprensión de la situación actual.

- Identificar elementos externos e internos.
  - Analizar los componentes del setup es básico para definir los elementos externos e internos, esta delimitación de setups puede ser obtenida mediante el uso de un listado de las actividades o diagramas de proceso del setup con el fin de identificar los elementos externos y los internos.
- Convertir los setups internos en externos.
  - Definir las acciones que permitan la conversión de los setups internos en externos.
- Buscar formas para la disminución de los tiempos de setup.
  - Implementar acciones que permitan la reducción de los tiempos de setup, estas puede ir desde la documentación y estandarización de los procesos contenidos en los setup o el establecimiento de controles visuales hasta cambios en herramientas, procesos, equipo y herramental usado en los setups analizados.
- Implementar mejoras.
  - Iniciar a correr los setups con las mejoras realizadas.
- Monitorear los resultados y medir el desempeño.
  - Mantener la atención del comportamiento de los setups luego de las mejoras realizadas con el fin obtener retroalimentación.
- Estandarizar las mejoras realizadas.
  - Practicar las nuevas actividades de manera estandarizada evitando prácticas que promuevan el aumento de los setups.
- Aplicación de Kaizen para la continua disminución de los setups.
  - Mantener una búsqueda constante para la reducción de los setups para contribuir al desempeño esbelto de los sistemas de producción [19].

- Localizar nuevo setup crítico
  - Realizada la mejora en el setup crítico, continuar con la identificación del siguiente setup con el fin de reducirlo.

En la figura 7, se muestra el proceso para la aplicación de la metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción.

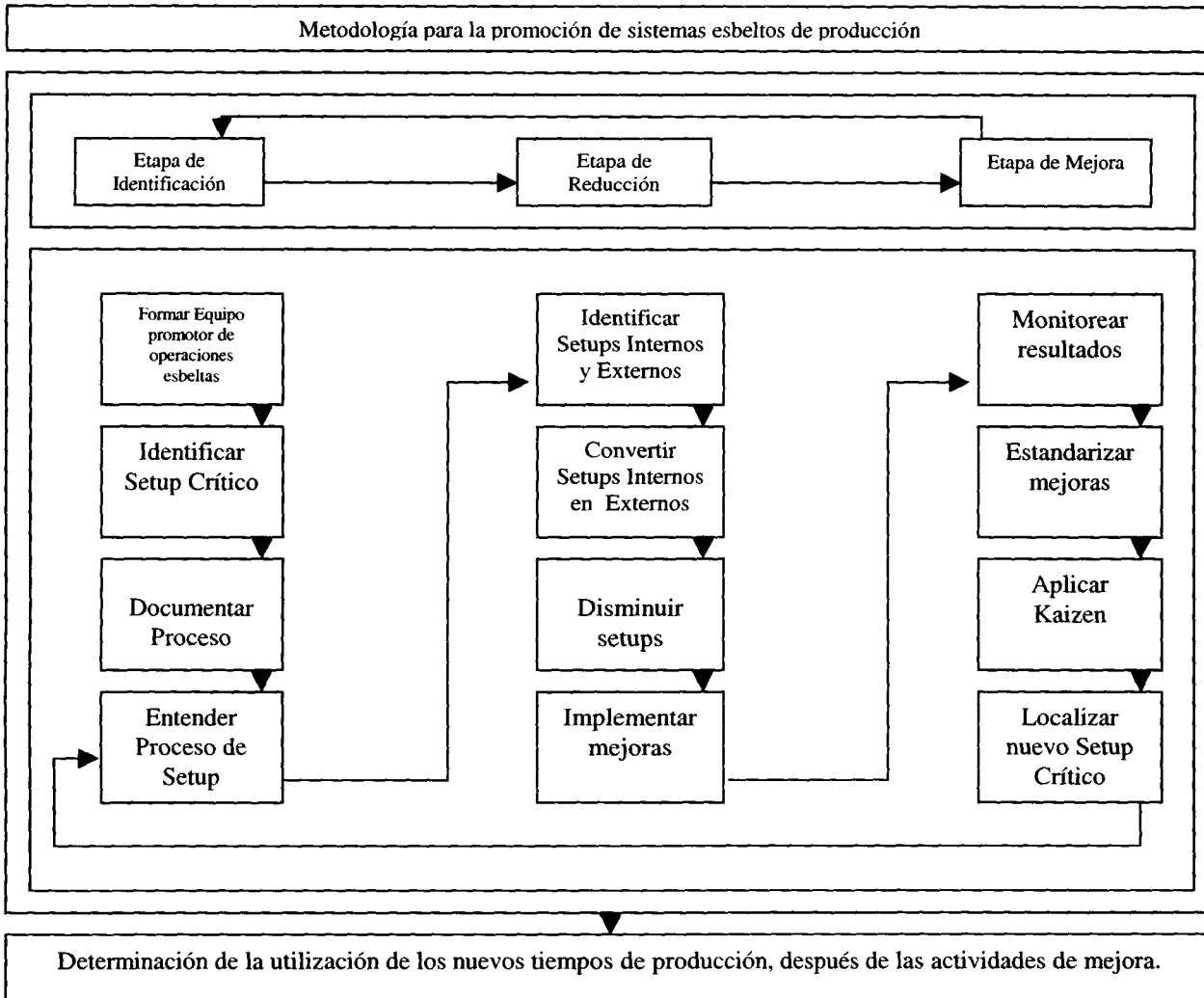


Figura 7 Metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción

#### V. Beneficios del uso de la Metodología para promover sistemas esbeltos de producción.

En esta sección se presentan los principales beneficios del uso de una estrategia de mejora para la promoción de sistemas de producción esbeltos, como la reducción de los setups, la producción flexible capaz de satisfacer la demanda de los clientes, la producción por lotes pequeños, la disminución de los inventarios y la reducción de los tiempos de entrega [18]. Por

lo que esta estrategia comparte la idea filosofía de la ME al reducir los desperdicios de producción.

- La metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción permite por medio de al reducción de los tiempos de preparación:
  - La eliminación de retrasos durante el proceso -- Con la disminución de los tiempos de setup la producción puede fluir con facilidad a lo largo de las líneas de producción evitándose los retrasos en la producción por la presencia de largos tiempos de preparación.
  - Reducciones dramáticas de los tiempos de entrega -- Con la reducción de los setups contenidos en un sistema de producción, los tiempos de ciclo totales para la entrega de los productos a los clientes se ven disminuidos para bien del mercado y de la organización.
  - Respuesta rápida a los cambios de la demanda -- Con un sistema productivo con tiempos de entrega corto viene también la capacidad de cumplir los requerimientos de cambios de producción que el mercado demanda de las organizaciones.

La reducción de los tiempos de setup es crítica en el cambio de las operaciones especialmente dentro del contexto de la manufactura esbelta por lo que las compañías deben poner atención en los tiempos de setup y dejar de considerarlos como un bien necesario [22].

#### V.1. Producción flexible para satisfacer la demanda.

Cuando un sistema productivo es capaz de mantener una mezcla de productos sin verse afectado por los setups que se presentan, estará en condiciones de satisfacer las demandas cambiantes de los clientes [20]. Cuando una empresa puede atender estas demandas sin problemas está en condiciones de entrar en un ciclo de mejora en donde se busca una producción sin detractores, en donde se promueve la filosofía de un trabajo esbelto y sin desperdicios. Mantener un sistema de producción con altos niveles de flexibilidad no es otra cosa mas que operar con bajos o nulos tiempos de setup y de acuerdo a la filosofía de la ME.

#### V.2. Producción el lotes pequeños.

El uso de una metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción pretende hacer desaparecer la idea de que los tiempos de setup impiden la flexibilidad de las líneas de producción y la producción por pequeños lotes intenta también deshacerse del precepto de considerar a los inventarios altos como un mal necesario oponiéndose al concepto del lote económico EOQ [17].



La metodología citada cuenta con la herramienta de mejora del SMED para cambiar radicalmente la idea del lote económico de producción, el cual tiene como idea fundamental que los costos de producción disminuyen a medida que los lotes de productos aumentan. Lo que se puede observar en la figura 5, en donde el eje de las "y" representa los costos de producción y el eje "x" representa el tamaño de los lotes a procesar. En la figura 8 se observa que el costo de la producción disminuye con el aumento de los lotes, mostrándonos el punto que indicaría el tamaño óptimo de los lotes, aunque por otro lado no podemos olvidar que lotes grandes provocan grandes inventarios.

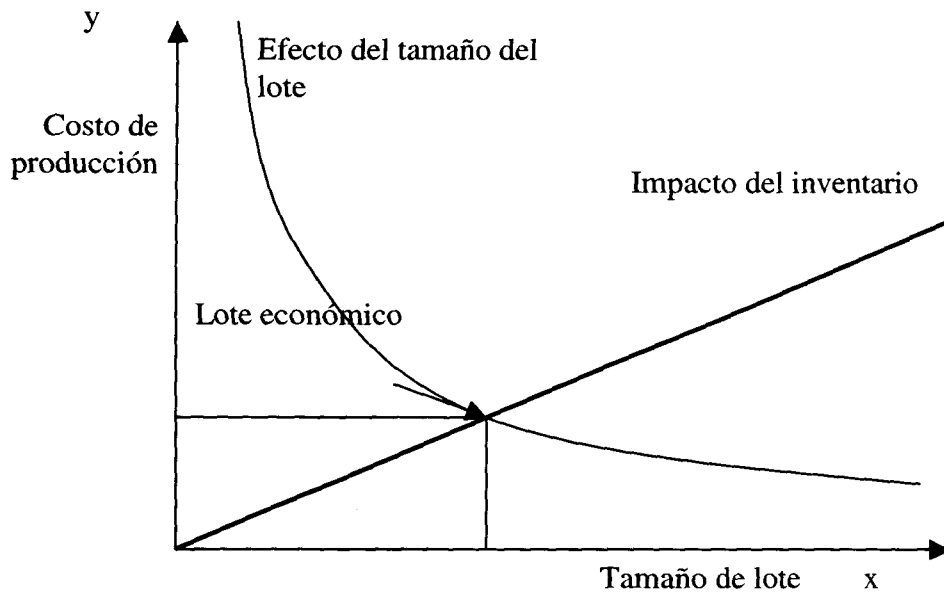


Figura 8 Determinación clásica del tamaño óptimo del tamaño de lote [17].

El lote económico se calcula a partir de la siguiente expresión bajo el punto de vista de la ingeniería industrial clásica.

$$E = \sqrt{\frac{2\lambda A}{LC}}$$

Donde

$\lambda$  = Demanda.

A = Costo de pedir (tiempo de setup por cambio de producto).

L = Costo de mantener inventario.

C = Costo unitario de producto.

El cálculo clásico del lote económico no contempla la opción de hacer modificaciones en los tiempos de setup, pero mediante la metodología para promover sistema esbelto de producción por medio del uso del SMED, estos tiempos se pueden reducir contribuyendo a la producción de lotes más pequeños sin influir en los costos de producción. Es en este punto donde la idea del SMED cobra importancia ya que este se enfoca primordialmente en la disminución de los tiempos de setup con la idea de disminuir los tiempos de preparación para las diferentes actividades de producción bajo el enfoque de la ME ya que la reducción de estos tiempos se puede ver como la disminución de los desperdicios en la producción [17].

De acuerdo a la figura 9, se puede ver el área de mejora disponible para la optimización de los sistemas de producción al disminuir los tamaños de lote y los tiempos de producción.

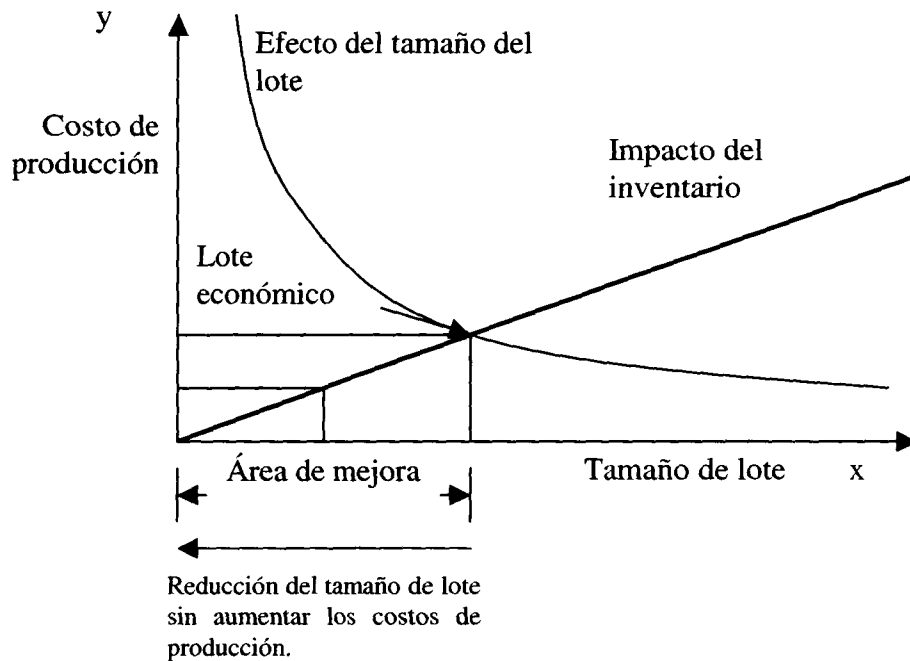


Figura 9 Reducción en el tamaño optimo de lote.

Aunque el concepto del lote económico resulta racional, se debe entender que es una estrategia pasiva y superficial de mejora, si consideramos la explicación anterior.

Un ejemplo del comportamiento de producción de acuerdo al lote económico se presenta en la tabla 1, en donde el incremento en el tamaño del lote reduce los costos de la producción ya que los tiempos de setups se presentan con menor frecuencia [17]. En el ejemplo se presenta un tiempo de setups de 4 horas y un tiempo de procesamiento por unidad de 1 minuto y se

busca optimizar el tiempo de producción aumentando el tamaño de lote de 100 a 1000 partes lo cual acortará el tiempo de ciclo en un 64%, reduciendo la presencia de los setups.

Tabla 1. Impacto del tiempo de setups

Setup	Tamaño de lote	Tiempo de proceso por unidad	Aparente tiempo de operación	Reducción de tiempo %
4 Hrs.	100	1 Minuto	$1 \text{ min.} + ((4*60)/100) = 3.4 \text{ mins.}$	100
4 Hrs.	1,000	1 Minuto	$1 \text{ min.} + ((4*60)/1,000) = 1.24 \text{ mins.}$	36

En este caso los resultado pueden parecer alentador si se considera el aumento en el lote de producción hasta 10,000 partes el tiempo de proceso disminuirá solo un 17% pero el crecimiento del inventario es enorme y los costos de mantenerlo se disparan, pero si se considera que puede forzarse la disminución de los tiempos de setups mediante el uso del SMED, y los tiempos de setups se reducen de 4 horas a 3 minutos, los resultados de un aumento el tamaño de lote de 100 hasta 1,000 se puede ver que son de apenas una reducción en el tiempo de ciclo de 3%, lo cual no representa una mejora significativa y el aumento de tamaño de lote, lejos de beneficiar los costos de operación, provoca la poca flexibilidad de la línea de producción y aumenta los costos de mantener inventarios, como se ve en la tabla 2 [17].

Tabla 2. Relación entre los tiempos de setup y los tamaños de lote.

Setup	Tamaño de lote	Tiempo de proceso por unidad	Aparente tiempo de operación	Reducción de tiempo %
3 Mins	100	1 Minuto	$1 \text{ min.} + ((3)/100) = 1.03 \text{ mins.}$	100
3 Mins	1,000	1 Minuto	$1 \text{ min.} + ((3)/1,000) = 1.003 \text{ mins.}$	97

Ha sido tal el impacto de la idea de reducción de los tiempos de ciclo por medio del uso del SMED, que en las universidades japonesas el término de lote económico no se enseña más.

### V.3. Disminución de inventarios.

La estrategia para la generación de sistemas esbeltos de producción proporciona grandes beneficios para las empresas manufactureras como la producción con óptimos niveles de inventario, ya que uno de los aspectos que generan gran beneficio para las organizaciones es el contar con bajos niveles de inventario, por lo que la reducción de los inventarios debe verse como una opción natural de mejora.

Esta disminución de inventario es posible gracias a la reducción de los setups, de la misma forma que esta reducción de setups permite contar con un alto nivel de flexibilidad en las líneas de producción, lo que da paso a la manufactura por lotes de producción pequeños de tal

forma que se presenta una frecuencia de producción alta entre los distintos productos manufacturados. Esta idea de la eliminación del desperdicio por los altos niveles de inventario o sobreproducción es la esencia del sistema de producción de Toyota, sistema de producción que se basa en la práctica de la estrategia de mejora del SMED como una alternativa eficaz contra los desperdicios de sobreproducción [21].

La estrategia para la generación de sistemas esbeltos de producción es usada para la disminución de los tiempos de setup, por lo que se puede decir que contribuye a la eliminación del desperdicio según la idea de la ME [22]. Por lo que se puede resaltar su beneficio global a lo largo y ancho de las organizaciones manufactureras. La figura 10, muestra la forma en la que la metodología propuesta se relaciona con la filosofía de la ME al contribuir con el desempeño óptimo de las operaciones y el logro de las metas organizacionales.



Figura 10 Metodología para la generación de sistemas esbeltos de producción y la ME.

La práctica de esta metodología puede también contribuir con el control de elementos como la priorización de actividades de producción, con la liberación de las órdenes de trabajo y con el control de los cuellos de botella.

#### VI. Aprovechamiento de tiempos liberados.

En esta sección se ofrece un panorama general de los posibles usos para los tiempos ahorrados mediante la utilización del método de mejora propuesto.

Con la reducción de los setup los procesos productivos cuentan con mayor tiempo disponible para ser aprovechado de acuerdo a los requerimientos que se tengan. Es posible utilizarlos con el fin de logra niveles mas altos de producción de algún producto de alta demanda, lograr mejores niveles de flexibilidad o usarlos con la idea disminuir costos mediante la disminución del tiempo de procesamiento. Otra forma de aprovechar este tiempo es usándolo

para fines de mantenimiento, incluso aprovechar el tiempo libre para capacitación y entrenamiento de los empleados. En fin el contar con tiempo libre, que anteriormente no se tenía, ayuda a las organizaciones a mejorar sus niveles de desempeño.

En un segundo artículo se pretende mostrar el desarrollo de la metodología para estar en condiciones de localizar y poder definir cuales son los setups críticos dentro de un proceso productivo, además de exponer la forma para el combate y la reducción de los tiempos de preparación detectados como críticos. Además se presenta una serie de alternativas para la utilización de los tiempos liberados por medio de la metodología para la promoción de sistemas esbeltos de producción. Así como observar un caso práctico en donde se expone la utilización de la metodología, con el fin de mejorar las condiciones de operación y generar un trabajo sin detractores en los tiempos de preparación [1].

Se presenta también la importancia de la localización y reducción de los setup como vía para la generación de sistemas esbeltos de producción y los beneficios de la disminución de los tiempos de setup, así como la definición de alternativas para los tiempos liberados.

Asimismo se enuncia una descripción de la organización manufacturera en donde se lleva a cabo el análisis, para poder entender el entorno y las condiciones del sistema productivo en que se aplica la metodología para la selección y disminución de setups críticos, además de la determinación de alternativas de uso para los tiempos liberados, propuesta en este artículo.

## **Referencias**

- [1] Wallace J. Hopp, Spearman, Mark L., 2000, *Factory Physics*, Mc Graw Hill, Boston.
  
- [2] Vázquez F. J., 2002. *Desarrollo de Modelo Lean Sigma y su Estrategia de Implantación*, Capítulo III, *Manufactura Esbelta*, ITESM.
  
- [3] Allen John H Jun 2000, *Make lean manufacturing work for you*, *Manufacturing Engineering*, 124, 6, ABI/INFORM Global.
  
- [4] Flinchbaugh Jamie, 2001a. *Beyond lean, building sustainable business and people success through new ways of thinking*, Lean Learning Center.
  
- [5] Hogan Brian J, May 2003, *Lean initiatives and lean learning*, *Manufacturing Engineering primavera*, 130, 5; ABI/INFORM Global, pg. 115-120.
  
- [6] Phillips T., 2003, *Building the lean machine*, *Advanced manufacturing*, Enero pp 1-5.
  
- [7] Vitalo Raphael L, 2003, *Not just another re-engineering effort*, *Canadian HR Reporter*; Invierno, 16, 22; ABI/INFORM Global, pg. 13-15.

[8] James R. Evans y William M. Lindsay. 1999, The Management and Control of Quality. Fourth edition. South-Western College, (Versión en español: La Administración y el Control de la Calidad, México, DF, International Thomson Editores 2000).

[9] Gideon Halevi , 2001, Hanbook of production, management methods.

[10] Booz Allen, Chain Management Opportunities Exist for 2004, Electronic Commerce News Supply, Potomac, Invierno.

[11] Steve LHunter, 2003, The 10 steps to lean production. FDM, 75, 16, pag 22, Invierno.

[12] Ariens Patrick Waurzyniak, 2003, Lean pays off at, Manufacturing Engineering, Verano.

[13] PRODUCTION MANAGEMENT: Lean for all, 2003, Metalworking Production, Verano, London.

[14] Anonymous, 2003, Welding D & F, Including Welding Engineer, Primavera, Cleveland.  
Ref 26

[15] Dennis J Stamm, 2003, The importance of people, Industrial Engineer, Invierno.

[16] Matthew J Zayko, Douglas J Broughman, Walton M Hancock, 1997, Lean manufacturing yields world-class improvements for small manufacturer, IIE Solutions, Norcross, primavera.

[17] Shigeo Shingo, 1991, Producción sin stocks: el sistema Shigeo para la mejora continua, Productivity Press, Cambrigdge, Massachussets y Norwalk, Connecticut.

[18] Steve L.Hunter, 2003, An introduction to lean production systems Step One: Re-engineer Manufacturing, FDM.

[19] Jim Lewis 2002, Speed up your setups, Lean manufacturing requires a continuous effort to reduce or eliminate the time required for setups and changeovers, UDM, Verano.

[20] Vivek Sharma, 2001, SMED for high-mix assembly Circuits Assembly, ProQuest Computing, Primavera.

[21] George Alukal, 2003, Create a lean, mean machine, Quality Progress, Primavera.

[22] Richard Greatbanks, 2001, Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: A study, The International Journal of Quality & Reliability Management.

[23] J T Black, Steve L Hunter, 2002, Making lean die change possible, Forming & Fabricating, Invierno.

## **ARTICULO 2**

**METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR Y REDUCIR SETUPS CRITICOS Y SELECCIONAR ALTERNATIVAS DE USO PARA LOS TIEMPOS LIBERADOS.**

## METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR Y REDUCIR SETUPS CRITICOS Y SELECCIONAR ALTERNATIVAS DE USO PARA LOS TIEMPOS LIBERADOS.

Omar Ortiz Parga

### I. Resumen.

La intención del presente artículo es desarrollar una metodología para definir la localización de setups críticos dentro de los procesos productivos, así como presentar herramientas para la reducción de tales tiempos y proponer alternativas de utilización para los tiempos liberados, cumpliendo con los principios de la Manufactura Esbelta (ME).

Además de mostrar un caso práctico en donde se expone la utilización de la metodología, con el fin de mejorar las condiciones de operación y promover un trabajo sin desperdicio, específicamente en los setups causados por cambios de producto [1].

Se pretende observar los efectos y beneficios de la disminución de los tiempos de setup como el manejo de menores niveles de inventario, la flexibilidad de las líneas de producción, la reducción de los tiempos de ciclo de operación y la reducción de los costos de operación. Así como determinar la utilización de los tiempos de proceso ahorrados de acuerdo a las condiciones de la organización analizada.

En la estructura del artículo se presenta la idea de la importancia de reducción de los tiempos de setup, así como la forma en la que se pueden determinar los setups críticos en un proceso. También se describe el proceso de decisión para determinar que hacer con los tiempos de proceso ahorrados después de la aplicación de las acciones de mejora, tomando en cuenta las características de la empresa en donde se realiza el estudio. Además se observa una breve descripción de la entidad manufacturera en donde se realiza el estudio con el fin de observar el contexto de la propuesta actual, así como exponer la forma en la que se desarrolla la aplicación de la metodología para identificar y reducir setups críticos, además de la selección de alternativas de uso para los tiempos liberados, además de los resultados y beneficios para la organización.

### II. Introducción.

En la actualidad las organizaciones a nivel mundial pretenden obtener niveles óptimos de productividad con el fin de cumplir con los requerimientos de los clientes tales como bajos costos, entregas en cortos periodos de tiempo, productos de mejor calidad, la flexibilidad de producción, entre otros aspectos relevantes para el mercado [1]. Tal desempeño puede alcanzarse con sistemas esbeltos de manufactura en donde se opera bajo el principio de la eliminación del desperdicio de igual manera que lo hace la ME y su filosofía para producir sin reductores. La ME se vale de herramientas para la disminución de los desperdicios tales como los setups, una de estas formas es mediante el uso del



SMED, técnica desarrollada por el Dr. Shigeo Shingo. El SMED divide los setups en externos los cuales se llevan a cabo durante la operación de la maquina y setups internos que son realizados durante la operación de la maquina, el objetivo del SMED es la reducción de ambos setups, al mismo tiempo de que busca la conversión de los setups internos en externos. Lo que contribuye positivamente al desempeño de un proceso productivo y ayuda al logro de las metas y objetivos organizacionales [5].

En el artículo se exhibe la metodología para la localización y reducción de los setup críticos en un sistema de producción. La identificación de setups es realizada por el análisis de los productos más demandados por los clientes durante un periodo de tiempo determinado. Además se exponen opciones para la utilización de los tiempos ahorrados por la reducción de los setups y la manera en la que se puede elegir una de las alternativas propuestas, buscando el beneficio de las organizaciones. Asimismo se presentan las generalidades del entorno en donde se realiza la presente investigación.

### III. Importancia de la disminución de los setups.

La reducción de los setups, es una forma de producir sin desperdicios de tal manera que se realicen las operaciones de manera optima y eficiente, cumpliendo con los estándares de la filosofía de la ME al reducir los desperdicios de producción [2]. Una forma en la que los tiempos de setup pueden ser disminuidos es mediante la práctica del SMED [3]. La reducción de los tiempos de setup cobra importancia al observar algunas de sus ventajas [4], como las que se enuncian a continuación:

- La eliminación de retrasos durante el proceso.
- Reducciones dramáticas de los tiempos de entrega.
- Respuesta rápida a los cambios de la demanda.
- Producción flexible para satisfacer la demanda.
- Producción en lotes pequeños.
- Disminución de inventarios.

Al observar los puntos anteriores se pone de manifiesto la importancia de la reducción de los tiempos de setup para la óptima operación de un sistema de manufactura, de tal manera que las operaciones se den de acuerdo a la filosofía de la ME [4, 14].

### IV. Procedimiento para localizar setups críticos.

La reducción de los setups es de vital importancia para mantener una operación esbelta o libre de detractores, por lo que los setups a disminuir deben ser críticos para la mejora de las operaciones de manufactura [5,15].

Es importante considerar que el procedimiento para la localización de setups críticos debe ser usado tomando en cuenta tanto la frecuencia de los setups, así como la duración de los mismos de manera conjunta para la determinación de setups críticos a atacar. De no tomar en cuenta estos dos factores se pueden presentar situaciones favorables y desfavorables para los procesos productivos, como las expuestas en la tabla 1.

Tabla 1 Situaciones de reducción de setup por su frecuencia o duración.

Método de localización de setup críticos	Ventajas	Desventajas
Por su frecuencia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce setups frecuentes</li> <li>• Flexibilidad de producción</li> <li>• Reduce tiempos de ciclo</li> <li>• Aumento de producción</li> <li>• Menor manejo de inventario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir setups de corta duración</li> <li>• Pasar por alto setups de considerable duración</li> </ul>
Por su duración.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce setups largos</li> <li>• Flexibilidad de producción</li> <li>• Reduce tiempos de ciclo</li> <li>• Aumento de producción</li> <li>• Menor manejo de inventario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasa por alto setups de corta duración</li> <li>• Pasa por alto setups repetitivos</li> </ul>

Es importante resaltar que independientemente de la forma en la que se determinen los setups críticos para un proceso, se debe conocer el tiempo de ciclo de producción, determinando los tiempos de proceso y los setups contenidos en el mismo. Para este efecto se debe tomar en cuenta, además de los tiempos mencionados las diferentes combinaciones posibles de tiempos de ciclo dados por la mezcla de productos a realizar y sus respectivos setups, considerando también las cantidades a manufacturar. Por lo que se debe considerar el uso de una forma de medición o evaluación de los tiempos de producción, preferentemente durante un periodo de tiempo determinado, con el fin de conocer los tiempos de ciclo (incluyendo tiempos de proceso y setup, así como cantidades a producir y combinaciones de setup causadas por las secuencias de los programas de producción) requeridos para cumplir con las ordenes de los clientes.

Una forma para la localización y determinación de los setups críticos dentro de un proceso productivo, puede ser dada por medio del análisis de la frecuencia de producción de los artículos manufacturados, con lo que se puede conocer el tiempo que requieren los setup para ser culminados y el tiempo total del setup por producto manufacturado, además de la frecuencia con la que se presentan. Los setups que representen una frecuencia mayor y requieran largos tiempos para su realización, son los que deben ser tomados en cuenta para la reducción del tiempo de ciclo de producción, con el fin de que los productos con mayor frecuencia de producción puedan ser manufacturados en menores periodos de tiempo. El procedimiento a seguir para la determinación de setups críticos por medio de la verificación de la frecuencia de producción y sus periodos de duración, se presenta en el siguiente diagrama de flujo representado en la figura 1.

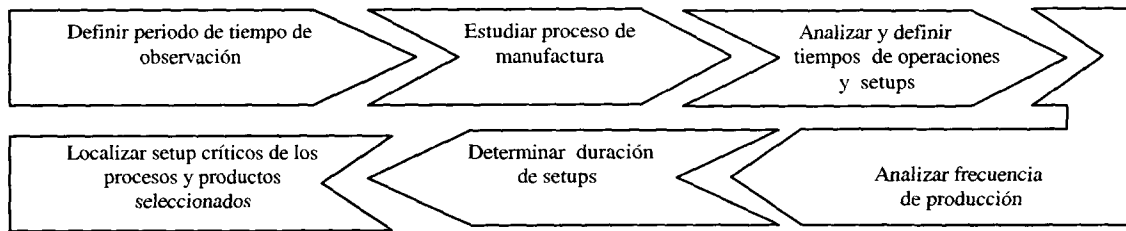


Figura 1 Diagrama de flujo para determinar setups críticos por frecuencia y duración.

Por medio del conocimiento de la frecuencia de producción de los artículos manufacturados es posible la determinación de aspectos como el inventario promedio por producto en un periodo de tiempo definido, además de conocer el número de setups realizados en tal periodo. De tal manera que con la reducción de los setups se está en condiciones de contraer los costos por manejo de inventario, además determinar que tan seguido puede darse la realización de algún producto. Un ejemplo de lo anterior se puede observar con los datos siguientes los cuales son desprendidos del caso práctico que se enuncia en este documento. En los gráficos expuestos el eje de las “y” representa la cantidad de producción expresada en kilogramos y en el eje de las “x” se presenta el periodo de tiempo en que se dio el análisis (Febrero de 2004).

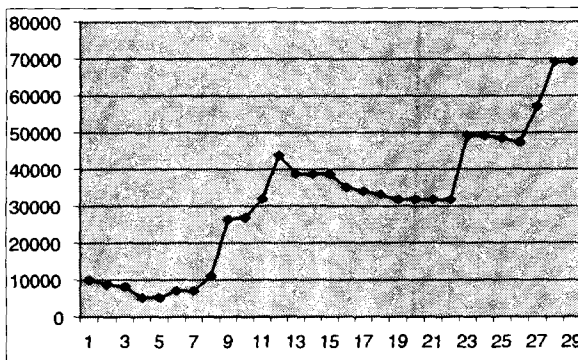


Figura 2 Grafico de un producto con setups constante

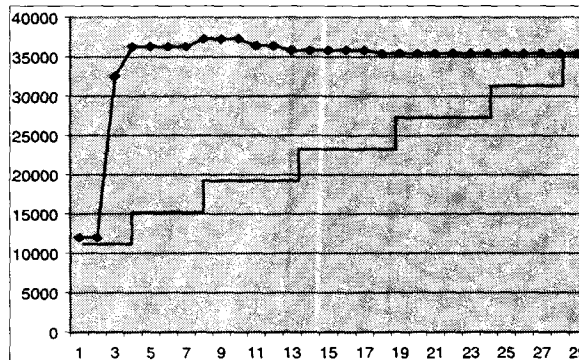


Figura 3 Grafico de un producto con un solo setup

De los gráficos contenidos en las figuras 2 y 3 es posible conocer el nivel promedio de inventario por cada producto, el cual puede ser calculado considerando la cantidad de producción que entra al almacén durante el periodo de tiempo analizado con relación la numero de días de tal periodo, por lo tanto el calculo sería el siguiente:

$$inventariopromedio = \frac{\sum \text{productos en almacen}}{\text{periodo de tiempo}}$$

También se puede determinar cuales productos son hechos con poca frecuencia de acuerdo al número de setups observados en el tiempo analizado. De los gráficos observados se tiene que el número de setups realizado para cada producto observado es de 4 y 1 respectivamente. Por lo que se puede pensar que la realización de un solo setup en el caso del gráfico 2, esta dictado por el tiempo considerable del setup a realizar para la manufactura del producto, por lo tanto se pudieran realizar acciones de reducción del setup para este artículos con el fin de aumentar la frecuencia en que se produce y disminuir los costos de mantener el inventario. Un perfil como el del gráfico 2 permite realizar una ejemplificación del cálculo del costo de inventario y su posible disminución por medio de la reducción de setups, ya que el costo por mantener inventario se relaciona con la cantidad de producto en almacén por periodos largos de tiempo [4], situación que en este caso se observa. Si se quiere disminuir los costos por mantener altos niveles de inventario deben realizarse acciones para la disminución de setup los cuales permitan un mayor numero de setup y por ende menores costos por mantener inventario [5], esta situación de la promoción de mas setups para promover una mayor frecuencia de producción y menores costos de inventario, se representa por la línea roja en el gráfico 2.

#### V. Reducción de los setups.

Conociendo los setups críticos dentro de un sistema de producción se debe iniciar un proceso para la reducción de los mismos. Para la disminución de los tiempos de setup se requiere del uso de técnicas que permitan conseguir tal objetivo, una efectiva forma de lograr tal propósito es mediante el uso del SMED [1], con el cual los setups que se consideran críticos en un proceso productivo son disminuidos dramáticamente para el bien de las operaciones. De tal forma que la producción demanda por el mercado sea realizada de forma óptima para cumplir con los requerimientos de los clientes [15]. El SMED promueve la innovación en los procesos de producción, para la reducción de los setups siguiendo el proceso de separar los setups internos y externos, después de haber definido cuales son los setups críticos de la operación para luego convertir los setups internos en externos y finalmente mejorar continuamente los elementos internos y externos [6].

El SMED además de promover la reducción de los setups, también atrae beneficios como la producción flexible capaz de satisfacer la demanda de los clientes, la producción por lotes pequeños, la disminución de los inventarios y la reducción de los tiempos de entrega [2]. Por lo que el SMED comparte de esta manera la filosofía de la ME al reducir los desperdicios de producción y su utilización es justificada para la promoción de mejores niveles en el desempeño en las organizaciones manufactureras.

Es importante señalar que la mejora en la reducción de los tiempos de setup no termina en el momento de la reducción, ya que se deben considerar las acciones a realizar con los

tiempos ahorrados luego de la reducción de los setups. Tales acciones deben ser determinadas de acuerdo a las características de la organización en donde se realice el proyecto de mejora.

VI. Determinar que hacer con los tiempos de setup ahorrados.

Identificados los setups críticos y aplicada la técnica del SMED para la reducción de los mismos, se procede a medir los tiempos ahorrados para poder definir las acciones u operaciones a realizar en los tiempos ahorrados, de acuerdo a los requerimientos que las organizaciones tengan. Estos tiempos pueden ser utilizarlos para logra niveles mas altos de producción, utilizar un mayor numero de setup o bajar costos al disminuir el tiempo de procesamiento, también se puede realizar programas de planeación de producción sin considerar los tiempos ahorrados con el fin de usar estos tiempos para cubrir requerimiento de producción imprevistos o urgentes, además la promoción de una mayor frecuencia de fabricación de productos con la finalidad de bajar los niveles de inventario y reducir el tamaño de los lotes disminuyendo también los costos [1]. Este tiempo de ahorro puede ser usado para fines de mantenimiento, incluso aprovechar el tiempo libre para capacitación y entrenamiento de los empleados.

La implementación de las opciones mencionadas debe ser dictada por las condiciones de operación de las empresas. En la figura 4 y en la tabla 2, se presenta un esquema para la elección de alternativas de acuerdo a las condiciones de trabajo en las organizaciones.

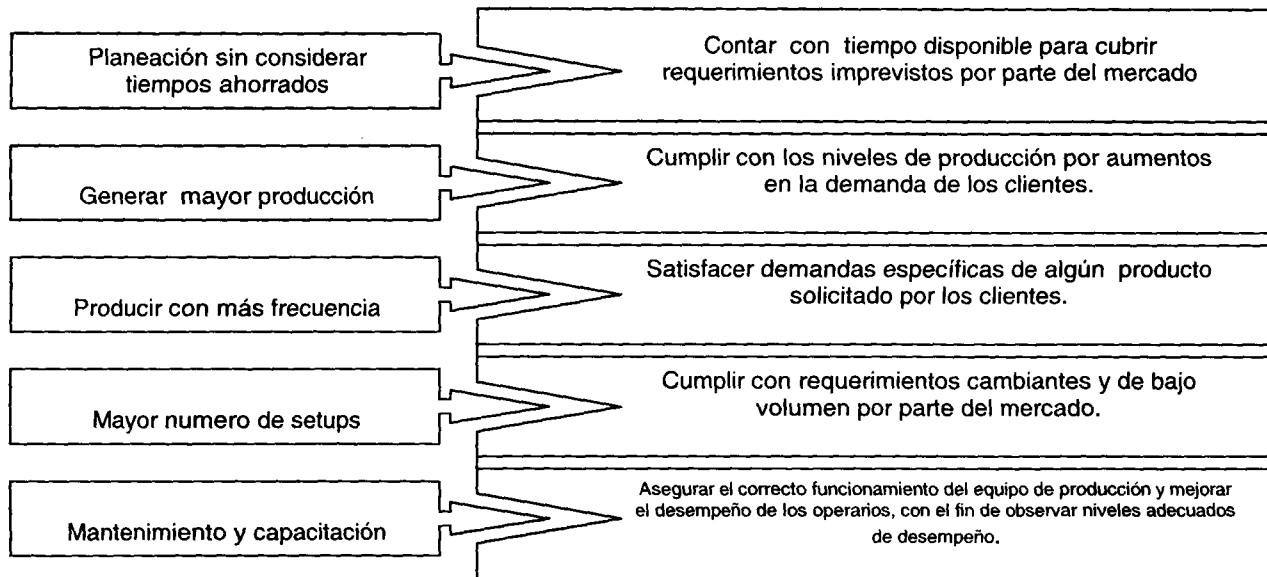


Figura 4 Uso de tiempos ahorrados de acuerdo a los requerimientos de una organización.

Tabla 2 Alternativas de utilización.

Alternativa de utilización	Condición organizacional
Planeación de la producción sin considerar los nuevos tiempos de producción disponibles.	Mercado y requerimientos cambiantes de los clientes, es decir las organizaciones que operan en condiciones en las cuales sus clientes puedan incrementar o solicitar producto de manera inesperada, pueden estar en posición de cumplir con estos repentinos pedidos de producción por parte de clientes importantes para las organizaciones.
Generar un mayor nivel en la tasa de producción.	Aumento en la demanda por parte del mercado, por lo que se debe incrementar la capacidad de producción usando los tiempos disponibles obtenidos de la reducción de los setups, con el fin de generar mayores salidas de producción y cumplir con las nuevas demandas del mercado.
La producción más frecuente de algún producto en particular.	Presentar un mayor nivel de demanda por parte de los clientes en determinados artículos, debiendo usar el tiempo ahorrado por los setups con el fin de cubrir la demanda de los clientes por un artículo en particular.
Generar un mayor número de setups con los nuevos tiempos disponibles.	Considerando las condiciones de mercado en donde las organizaciones deben cumplir con requerimientos cambiantes de producción para la satisfacción de los clientes, además de promover la disminución de lotes de producción, niveles y costos de inventario, así como generar una mayor flexibilidad de producción.
Actividades de mantenimiento y capacitación durante los nuevos tiempos disponibles.	Requerimientos de las organizaciones en el mejoramiento de las condiciones de operación y desarrollo del personal operativo.

## VII. Caso práctico.

En esta sección se observa un caso práctico en donde se aplica la metodología para promover sistemas esbeltos de producción como alternativa viable para la reducción de los tiempos de setup, con ayuda del uso de la técnica del SMED. En el caso de estudio se presenta la situación por la cual se justifica el planteamiento del uso de la herramienta de mejora propuesta. Se expone la forma para determinar los setups críticos a combatir localizados por medio del análisis de la demanda, las ordenes de producción y los tiempos de proceso requeridos para la manufactura, en un periodo de tiempo determinado. Además se presenta una descripción de la empresa en donde se realiza el estudio presente en el área de manufactura en electrodos para soldadura.

### VII.1 Generalidades de la organización.

La organización manufacturera es una empresa transnacional con presencia en México y en el extranjero localizada en la ciudad de Monterrey NL., dedica a la manufactura de electrodos recubiertos para soldadura. La manera en la que se realiza la producción de los electrodos recubiertos para soldadura se lleva a cabo en cuatro líneas de producción dependiendo de las

características de los productos a manufacturar. En la tabla 3 y 4, se muestran las líneas de producción, así como sus características y etapas para la producción de las piezas.

Tabla 3 Líneas de producción y sus etapas.

Línea	Etapas				
1	Preparar mezcla en seco para color.	Preparar mezcla húmeda para color.	Preparar cilindro de pasta para revestir electrodo.	Preparar alambre para formar electrodo.	Introducir electrodo recubierto a extrusión.
2					
3					
4					

Tabla 4 Líneas de producción y sus características.

Línea	Características	
1	Extrusión en alta y baja temperatura	Ventas en México y extranjero
2	Extrusión en baja temperatura	Ventas en México y extranjero
3	Extrusión en baja temperatura	Ventas en México y extranjero
4	Extrusión en baja temperatura	Ventas en México y extranjero

Algunas consideraciones importantes de las tablas 2 y 3 se describen a continuación:

- Las etapas mencionadas pueden ser realizadas al mismo tiempo hasta el proceso de extrusión, ya que básicamente son fases de preparación para llegar al proceso de extrusión del electrodo.
- El proceso de manufactura de electrodos para soldadura analizado se contempla hasta el proceso de extrusión del material, sin considerar el empaque del producto.
- La línea 1 difícilmente produce piezas de baja temperatura y la venta de los productos que en ella se manufacturan generalmente es realizada en México.
- Los productos que manufactura la línea 1 son de los más demandados por el mercado nacional.
- Las otras líneas producen lotes más pequeños y de baja temperatura en la extrusión, estas piezas pueden ser vendidas dentro y fuera del país.
- La producción de electrodos de alta temperatura requiere de ciclos de producción más largos.
- Los productos de alta temperatura presentan una demanda considerable por parte del mercado nacional.

De las consideraciones anteriores se observa que la línea 1 presenta una utilización considerable ya que es en esta donde se realiza la manufactura de electrodos que requieren una extrusión en alta temperatura, productos que son los más demandados por los clientes y los que requieren de mayor tiempo para su producción. Estos electrodos son demandados de

manera constante y en cantidades considerables por los clientes de la empresa, por esta razón se requiere encontrar la forma de eliminar desperdicios como el excesivo tiempo usado para los setup dentro de esta línea de producción.

Por tal motivo se considera que la presente investigación se enfoque a provocar niveles de desempeño esbeltos y genere la reducción de los tiempos de setup en la línea de producción 1, con el fin de propiciar la mejora en el desempeño de la línea. Por lo tanto en el caso analizado en este artículo, se trata como idea fundamental la implementación de la metodología para generar sistemas esbeltos, aplicada a la línea de producción 1 perteneciente a la organización estudiada. Los productos de alta temperatura manufacturados en la línea 1, aparecen en la tabla 5.

Tabla 5 Productos de alta temperatura en línea 1

Productos	
E7H3/1618	EMG5/3218
EH5/3218	EA1M1/814
AB101/81806	AA5/3214QP
EH1/818	E13/3214L
EA1/814CT	E11/814L
A105/3218	E15/3214L
AA1/814L	E15/3214QP
E11/814QP	E13/1614C
E13/1614L	E11/418
E7AA1/818	E3/3214P
AG B103/3214	PRAA1/8X1422
ESH3/3214	E5/3218PR
7A3/3214	E3/1618P
HE1/818	SW3/321225C
EH3/3214	ES11/814C
ES1/814QP	ES145/3214C
ES5/3214QU	S1/81450A
EAA1/814QP	S145/321450C
A5/321450	E18H1/814
E70A5/3218	EH5/3214
EAA3/321450	EM1/818
EA15/3218	M3/1618
EH3/1614	AA5/3214#L
EMG3/3214	E1/818PR
E1MG5/321820	EM1/818C20

Además de los productos (electrodos recubiertos para soldadura), mencionados en la tabla 4, la línea 1 puede también fabricar productos de baja temperatura, solamente si las otras líneas no cuentan con el tiempo suficiente para la entrega de algún pedido en especial, aunque esta es una situación que no se presenta con frecuencia, por lo que solo se considera la producción de electrodos de alta temperatura en el estudio presente.

Luego de definir la línea para la realización del proceso de mejora y generación del proceso esbelto de operación, se presenta a continuación el proceso para la generación de sistemas esbeltos de operación referido en el presente documento.



- VII.2 Formar equipo de personas con una buena comunicación para la identificación y reducción de los setups críticos en los procesos productivos, además de la identificación y selección de alternativas para el uso de los nuevos tiempos disponibles y la promoción de una constante generación de ideas para la mejora continua de las operaciones.

Para la integración del equipo para la reducción del setups cada integrante del equipo debe estar relacionado de alguna forma con el proyecto a realizar [8, 11, 13]. En la tabla 6, se presenta la relación del personal propuesto para actuar en el proyecto de SMED a realizar así como las actividades correspondientes de cada uno de ellos.

Tabla 6 Equipo promotor de sistemas esbeltos

Responsable	Actividad
Gerente de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover la realización del proyecto así como facilitar los requerimientos necesarios para el proyecto y retroalimentar al equipo respecto a las acciones a tomar.</li> </ul>
Ingeniero de proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liderar el proyecto, además de proponer, evaluar, seleccionar y documentar los procesos de mejora.</li> </ul>
Supervisor de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entender el proceso del setup y proponer alternativas para reducirlos.</li> </ul>
Operarios de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar los setup y proponer alternativas de solución para su reducción.</li> </ul>

### VII.3 Identificar setups críticos.

Para la identificación de los setups a controlar se realizó un estudio A,B,C [4,5], en cuanto a la demanda de electrodos a manufacturar, donde el producto mas solicitado por los clientes es considerado como A, los productos con un nivel medio de demanda como B y los productos menos demandados como C, de tal forma que los setups requeridos para la producción de los artículos con clasificación A, son los primeros que se consideran para mejorar el nivel de servicio al cliente. En el caso de estudio presente, los setups requeridos en la línea 1 son iguales para todos los productos que hay se manufacturan, por lo que el impacto de la mejora en los tiempos de ciclo se vera reflejado tanto en los productos A como en B y C.

El estudio de la demanda para determinar la clasificación A,B,C se realiza tomando en cuenta la demanda de producción de la línea 1 del mes de Febrero de 2004. Los resultados del análisis de la demanda por tipo de producto se determinaron con los perfiles de inventario del mes analizado los cuales aparecen en la sección del apéndice de este artículo. Una muestra de tales perfiles aparece en las figuras 7 y 8, en donde las cantidades mostradas sobre el eje "y" de los gráficos son dadas en kilogramos y en el eje "x" se dan los días del mes de Febrero de 2004.

Las graficas de los perfiles obtenidos después del análisis de la demanda durante el periodo del mes de Febrero de 2004, son utilizadas con la finalidad de determinar el número de setups realizados por cada una de los productos manufacturados en el periodo de tiempo estudiado, así como para poder determinar cuales de los productos puede ser producido más frecuentemente. Además el uso de los perfiles arroja información sobre los costos incurridos por mantener los inventarios en almacén, de igual forma con el análisis de los perfiles se puede determinar por la frecuencia de setups observados, cuales de estos son los que se dan con mas frecuencias y conocer también cuales son los mas largos. Por lo que la utilización e interpretación de los datos obtenidos en la frecuencia de producción ayudan a definir setups a reducir y por ende a mejorar las operaciones y la promoción de sistemas esbeltos de producción.

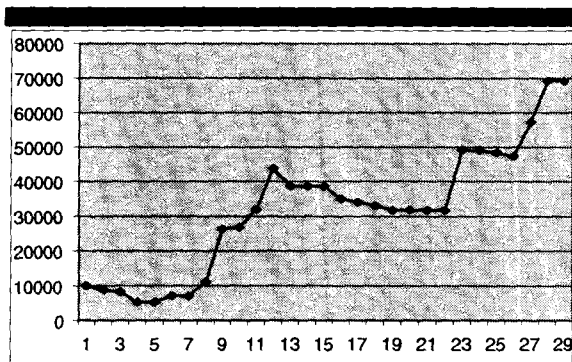


Figura 6 Demanda de un producto en la línea 1 correspondiente al mes de Febrero de 2004.

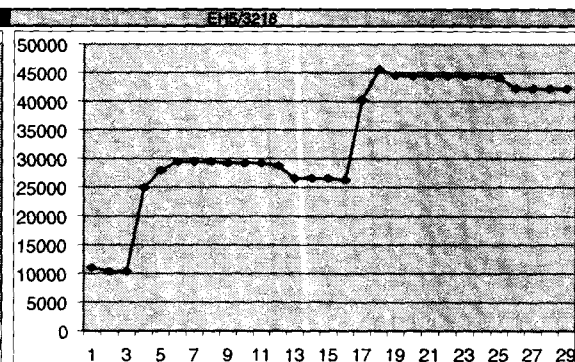


Figura 7 Demanda de un producto en la línea 1 correspondiente al mes de Febrero de 2004.

A partir de las figuras 6 y 7, como ya se ha mencionado es posible la determinación de los setups hechos en el mes, conocer que producto puede ser manufacturado con mayor frecuencia, estimar inventarios promedio, conocer costos por mantener inventario, además de poder localizar setups repetitivos y setups largos. Con la información recabada de las frecuencias de producción es posible determinar los productos que corresponden al sector A, los correspondientes al sector B y los del sector C. De tal forma que el estrato de productos con la letra son candidatos naturales para la reducción de setups por medio de la aplicación del SMED. En la figura 8 se presenta esta relación de productos.

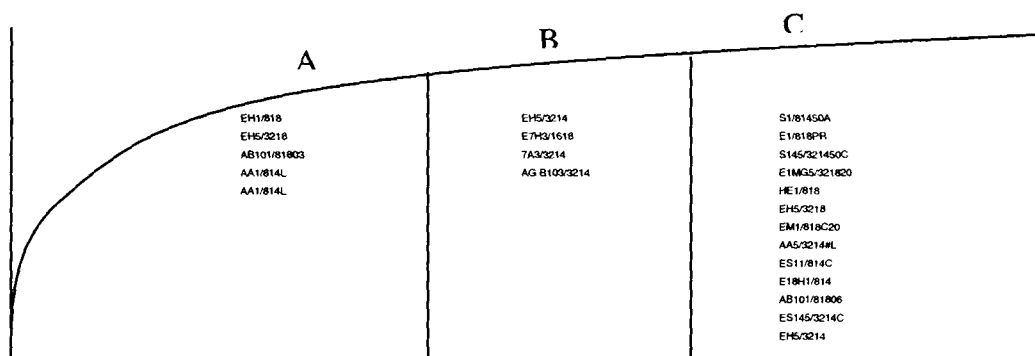


Figura 8 Estudio A,B,C del mes de Febrero de 2004 en la línea de producción 1.

Es importante señalar que por las condiciones del proceso productivo analizado en este artículo, el estudio A,B,C no resulta necesario ya que como se ha mencionado las acciones tomadas para la mejora y disminución de los setups en los artículos clasificados como A, representan el mismo impacto que para los artículos clasificados como B y C. De tal forma que la realización del estudio A,B,C realizada en este artículo se presenta como una ilustración de la elaboración de este tipo de análisis.

Otro aspecto importante a ser considerado en este punto es la determinación de los tiempos perdidos por los prolongados y frecuentes setups, dentro de los ciclos de producción. Este cálculo se realizó tomando en cuenta la frecuencia y duración de los setups presentados en la secuencia de producción determinada en el periodo de análisis de este documento (Febrero de 2004). La estimación de los tiempos perdidos se llevó a cabo de igual forma para todos los artículos manufacturados de acuerdo a la secuencia de producción de Febrero de 2004. La estimación del tiempo perdido de producción por artículo se determinó de la siguiente manera:

$$tiempoperdido = (frecuencia) \times (duración)$$

#### VII.4 Documentar procesos actuales.

Para la descripción del proceso de producción se realiza un diagrama de flujo. El proceso seguido para la manufactura de los electrodos en la línea 1 es representado en la figura 5.

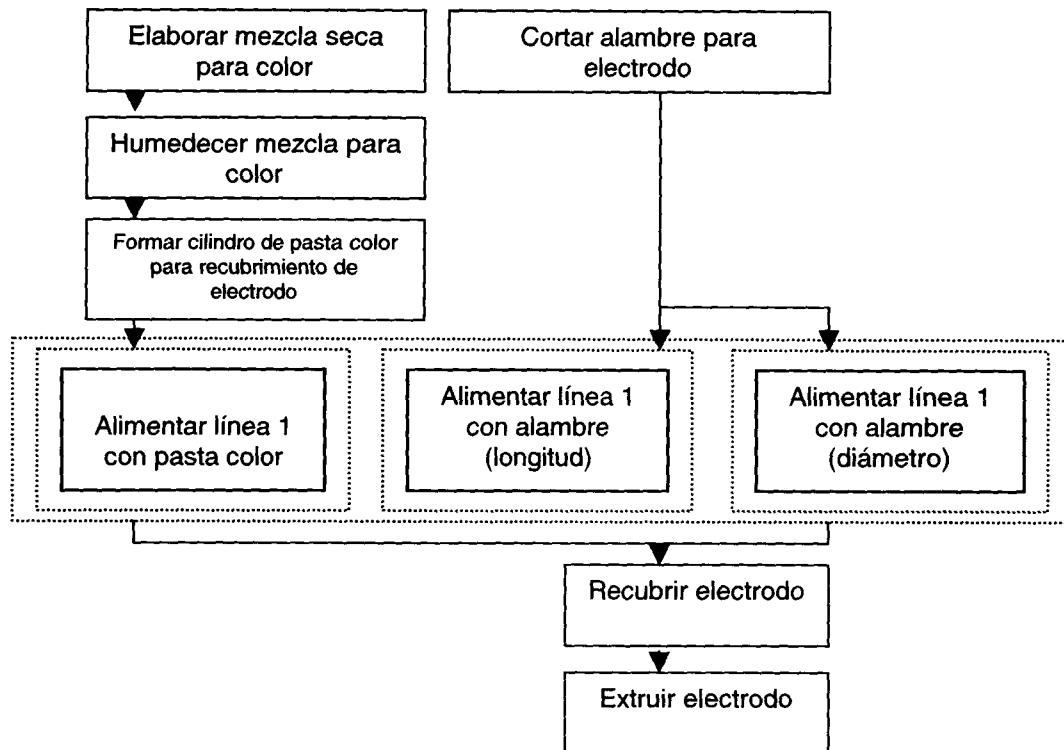


Figura 5 Proceso de manufactura en la línea 1.

En la figura 6 se presenta un panorama general del proceso de manufactura en la línea 1. En las operaciones remarcadas se presentan los setups críticos para la manufactura de los electrodos recubiertos para soldadura. Por lo tanto estos setups son los que se atacaran con el fin de mejorar los niveles de desempeño de la línea de trabajo. En la tabla 6, se muestran los tiempos de setup marcado en la figura 1, los cuales están contenidos en la parte del proceso que da inicio a la operación de la línea de producción 1, línea que es estudiada en el presente documento. Los tiempos mostrados en la tabla 7 y en las posteriores tablas son expresados en minutos.

Tabla 7 Tiempos de setups por actividad.

Actividad	Tiempo de setup
Alimentar pasta a línea 1	45
Alimentar alambre a línea 1 (longitud)	50
Alimentar alambre a línea 1 (diámetro)	70

En la tabla 7 se observan los tiempos de proceso y de setup de la actividades a realizar para la manufactura de los electrodos. Los setups considerados para la realización del SMED, son los observados en las actividades de alimentación de pasta y alambre (acciones que son realizadas de forma paralela), tales setups pueden variar sus tiempos de realización de acuerdo a la mezcla de programación de la producción que se presente. Una observación al respecto es la de considerar el tiempo de setup requerido para la pasta color a ser alimentada a la línea 1, setup que es realizado generalmente en un tiempo de 45 minutos cuando la secuencia de producción permite la elaboración de un artículo de diferente color al producto anterior, en caso de ser colores similares se estima un tiempo de realización de 40 a 45 minutos y si se presentan iguales colores entonces el setup de color no se realiza a menos que se presente alguna situación especial. Es decir los tiempos requeridos para la realización de los setups depende de la secuencia de producción que se tenga en consideración de acuerdo a la demanda de los clientes.

El tiempo de proceso para la extrusión de los electrodos a usar en esta investigación se determino por el promedio de los tiempos requeridos para la extrusión de los electrodos de alta temperatura manufacturados en la línea 1. Para que el proceso de extrusión en la línea 1 (considerando productos de alta temperatura), sea realizado se requiere de un tiempo de preparación o setup para alcanzar los rangos de temperatura necesarios para la producción.

El tiempo en que tarda el proceso de extrusión en lograr esta temperatura, desde una temperatura inicial hasta la requerida para la producción es considerable (entre 2 y 2 horas y media), razón por la cual en el presente trabajo se hace la consideración de contar con los niveles de temperatura requeridos para la extrusión de los electrodos de alta temperatura. Aunque se toma en cuenta que el proceso de extrusión luego de alcanzar la mínima temperatura requerida para la producción, presenta oscilaciones en la temperatura de acuerdo a los productos a manufacturar ya que aunque son considerados de alta temperatura, estos mismos

requieren de variaciones pequeñas en el nivel de temperatura. De tal forma que los cambios de temperatura son dados en un rango que no baja del nivel requerido para los electrodos de alta temperatura. También es importante mencionar que para la culminación de estos cambios de temperatura es necesario un setup en el proceso de extrusión que genere el cambio de temperatura, estas oscilaciones de temperatura se realizan en un tiempo no mayor de 15 minutos, tiempo menor al de los setups detectados como críticos para el proceso en las etapas anteriores, por lo cual el setup mencionado no es atacado en este trabajo.

### VII.5 Entender el proceso del setup

Para entender el comportamiento de los setup a estudiar se presenta primeramente la parte del proceso en donde estos son contenidos, además de la lista de actividades principales de los setup bajo análisis.

La figura 9 muestra la línea 1 en donde se realiza el proyecto.

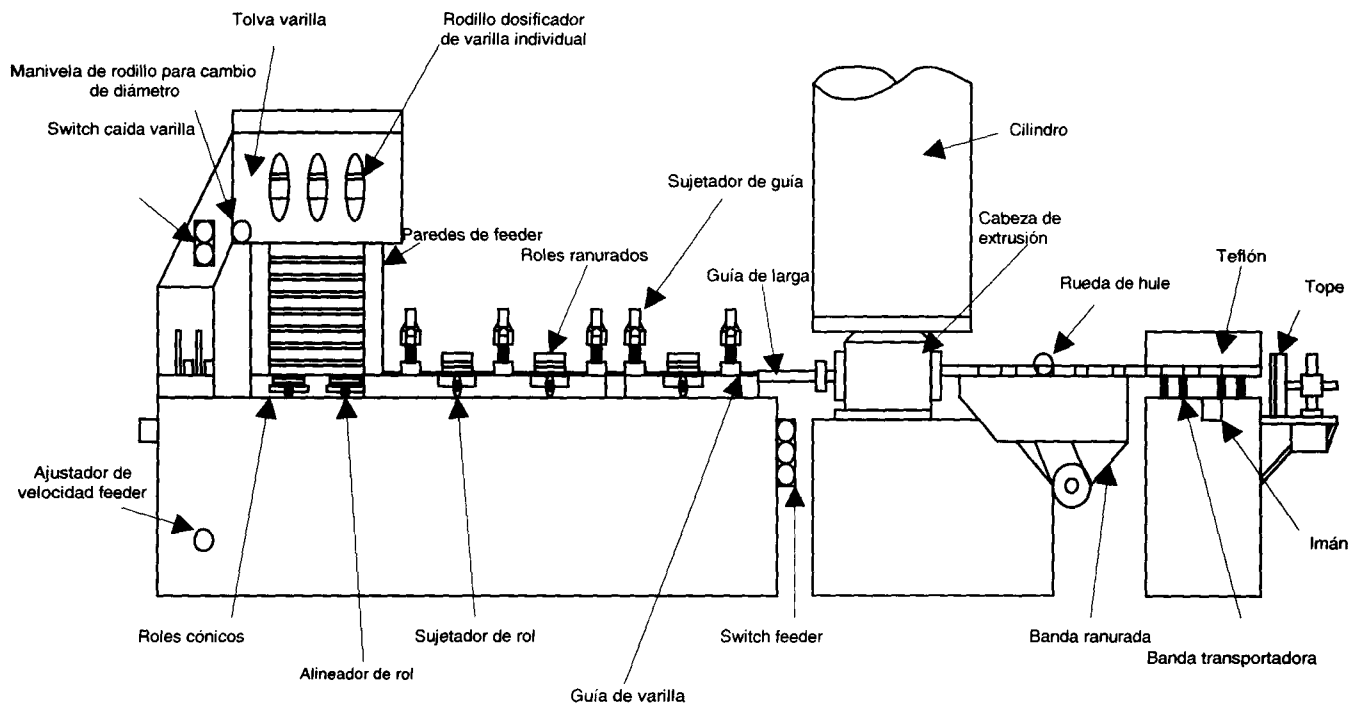


Figura 9 Sistema de alimentación a línea de producción 1 (localización de los setups a reducir).

Determinar y entender la manera de la realización de las operaciones en los setups mediante cuestionamientos del porque de las actividades presentes, con el fin de entender la manera en la que se comportan el proceso, es un factor importante en la selección de las alternativas de mejora para la reducción de los tiempos de setup [5]. Esta serie de cuestionamientos presentan una guía para la determinación de la naturaleza de las actividades contenidas en los setups y su posible conversión de actividades internas a externas.

Una descripción de las actividades seguidas en el proceso de los setups a analizar se presenta en las siguientes tablas en donde se consideran las actividades de los setups, tomando en cuenta que tales setups son los realizados al inicio de las actividades de producción de la línea 1, es decir al inicio del programa de producción a realizar, además de considerar que el rango de temperatura de extrusión se encuentra ya en condiciones para el inicio del proceso en alta temperatura.

- ◆ Setup en la alimentación de pasta

Tabla 8 Setup de pasta

Actividad	Tiempo
Encender cartuchera	1
Subir contenedor de pasta	3
Lubricar cilindro compactador y tapa circular	1
Retirar pasta de contenedor (para un cilindro de pasta)	2
Introducir pasta a cilindro compactador	2
Cerrar cilindro compactador	1
Compactar cilindro	1
Abrir cilindro y retirar cilindro de pasta	2
Colocar cilindro en alimentador de pasta vacío	2
Lubricar cartuchera de alimentador y tapar	1
Preparación y limpieza de cabezal de extrusión	29

Consideraciones de la tabla 8:

- Los tiempos indicados son referidos a una carga de pasta para el recubrimiento de los electrodos, tales tiempo son expresados en minutos.
- Los tiempo se setup aumentan por la limpieza requerida del contenedor si el cambio de producto presenta un color diferente, de tal forma que si un cambio de producto presenta igual color el tiempo de setup por cambio de color se considera como nulo.
- La actividad de preparación y limpieza del cabezal de extrusión es un proceso que tiene relación directa tanto con el setup de pasta, así como con el setup de diámetro. Por lo que esta actividad de considera en el setup de pasta en cuanto a la limpieza del cabezal y en el setup de diámetro al observar las acciones necesarias para preparar el paso del electrodo.
- Las actividades a realizar son la necesarias para el inicio de la producción, después del primer cambio de producto se realizan otras actividades de limpieza como limpiar los cilindros para compactar y alimentar la pasta a la línea 1, el deposito y almacenaje de las cargas de pasta en bolsas de plástico y la limpieza del cabezal de extrusión. Estas actividades son realizadas de manera interna después de la primera orden de producción en la cual se generan las actividades descritas en la tabla 9.

- ◆ Setup en la alimentación de alambre (longitud)

Tabla 9 Setup de longitud

Actividad	Tiempo
Preparar contenedor de alambre	1
Verificar longitud de alambre	1
Ajustar longitud de paredes para alambre	21
Subir contenedor de alambre	5
Colocar roles cónicos	22

Consideraciones de la tabla 9:

- Los tiempos indicados son referidos a una carga de alambre para alimentar a la línea 1, tales tiempos están expresados en minutos.
- El tiempo de setup del traslado de la primera carga se considerara igual a la de las cargas posteriores de alambre.
- Los setups pueden contener solamente el cambio de contenedor de alambre sin cambio de longitud considerando el cambio de carga y el cambio de longitud.

- ◆ Setup en la alimentación de alambre (diámetro)

Tabla 10 Setup de diámetro

Actividad	Tiempo
Verificar diámetro de alambre	1
Colocar roles ranurados	13
Colocar guías cortas	11
Ajuste de roles y guías	10
Preparar cabezal de extrusión	20
Ajustar cabezal y guías	15

Consideraciones de la tabla 10:

- Los setup para el cambio de diámetro se consideran contando con el material y equipo necesario listo para la realización de la actividad. Los tiempos de los setups mostrados en la tabla 8, se expresan en minutos.
- Se considera el tiempo de ajuste de la línea de paso del alambre y a través de los roles.

Luego de la determinación de los componentes de los setup y su localización en el proceso se procede a la observación de los tiempos de producción total en un periodo de tiempo determinado, considerando los propios tiempos de setup actuales, así como los tiempos de proceso de acuerdo a la cantidad de producto a manufacturar y a su secuencia de producción, esto con el fin de evaluar los tiempos de producción actuales. Para observar tiempos de ciclo y setups actuales de línea 1, se toma como la programación de la producción de Febrero de 2004.

Para la determinación de estos tiempos se emplea un evaluador de los tiempos de producción en el cual se tomó en cuenta los tiempos de proceso requeridos para la producción

así como sus respectivos setup, además de la secuencia de producción para el periodo de producción analizado, ya que los tiempo de setup observados puedan variar su duración de acuerdo a al secuencia de producción que se corra, es decir se da una variación en los tiempos de preparación de acuerdo a la mezcla de programación de la producción que se presente. Como en el caso de la dependencia de la duración del setup de color de acuerdo al orden de la secuencia de producción que se lleve a cabo. De tal forma que este setup requiere de un tiempo de 40 minutos si la secuencia de producción presenta cambios de producto con colores similares, pero si los colores son diferentes entonces el tiempo generalmente requerido para el setup es de 45 minutos, incluso si se presentan iguales colores entre cambios de producto se puede tomar el tiempo del setup como nulo. Es decir los tiempos requeridos para la realización de los setups depende de la secuencia de producción que se tenga en consideración de acuerdo a la demanda de los clientes. En la tabla 11 se presenta la programación de la producción en Febrero y los tiempos requeridos para la culminación de los pedidos solicitados para tal periodo.

Tabla 11 Evaluación del tiempo de producción del mes de Febrero de 2004.

EVALUADOR							
No de Orden	Clave	Cantidad	Color	Tpo de Extrusion	Setup max	Tiempo por Producto	Tpo Acumulado
1	E7H3/1618	23000	gris	42.3	70	1367.20	1367.20
2	EH5/3218	45000	gris	62.6	70	3826.00	5193.20
3	AB101/81806	30000	café bajo	63.9	70	2626.00	7819.20
4	EH1/818	20000	gris	63.9	45	1749.00	9568.20
5	EA1/814CT	31000	gris bajo	54.2	70	2310.27	11878.47
6	A105/3218	6000	café bajo	62.5	70	570.00	12448.47
7	EH1/818	30000	gris	63.9	50	2606.00	15054.47
8	AA1/814L	31000	gris bajo	54.2	50	2290.27	17344.73
9	E11/814QP	4311	gris	58	40	373.38	17718.12
10	A105/3218	2400	café bajo	62.5	70	270.00	17988.12
11	EH5/3218	20000	gris	62.6	45	1714.33	19702.45
12	A105/3218	14000	café bajo	62.5	45	1211.67	20914.12
13	E13/1614L	3952	gris	42.5	70	293.95	21208.06
14	AB101/81806	35000	café bajo	63.9	70	3052.00	24260.06
15	EH1/818	20000	gris	63.9	45	1749.00	26009.06
16	AB101/81806	1200	café bajo	63.9	45	147.24	26156.30
17	E7AA1/818	1000	gris bajo	54.2	45	117.27	26273.57
18	E11/814QP	10853	gris	58	50	889.30	27162.87
19	AG B103/3214	17100	café bajo	65.8	70	1570.24	28733.11
20	ESH3/3214	10800	gris	65.8	45	992.52	29725.63
21	7A3/3214	7280	gris bajo	61.8	40	639.87	30365.50
22	AB101/81806	1200	café bajo	63.9	70	172.24	30537.74
23	E7AA1/818	1000	gris bajo	54.2	45	117.27	30655.01
24	E11/814QP	7185	gris	58	50	605.64	31260.65
25	HE1/818	8000	gris	70.4	50	800.93	32061.58
26	A105/3218	7000	café bajo	62.5	70	653.33	32714.91
27	EH3/3214	5000	rojo	30.8	70	275.33	32990.25
28	ES1/814QP	4080	blanco	38.2	70	277.81	33268.06
29	EH3/3214	5000	rojo	30.8	70	275.33	33543.39
30	ES5/3214QU	1360	blanco	32.2	70	128.39	33671.78



Los tiempos obtenidos por evaluador en cada una de las órdenes de producción y en los tiempos acumulados de la jornada de manufactura, se encuentran expresados en minutos.

La manera en la se obtuvieron los tiempos de la tabla 11, se dio considerando el orden de producción en las ordenes de trabajo, tomando en cuenta el tiempo de ciclo de la operación y la cantidad a producir, además del setup mas largo encontrado entre cada una de las operaciones de cambio de producción.

VII.6 Identificar elementos externos e internos.

La identificación de las actividades externas e internas de los setups se puede llevar a cabo a partir de la lista de actividades usada para el análisis de los elementos de los setups estudiados [1]. Por lo que a continuación se muestran las listas de actividades de los setups y la naturaleza de las mismas. La clasificación de las actividades se realiza de acuerdo a la técnica de SMED, en donde se considera a las operaciones externas cuando un proceso productivo se encuentra en operación y las actividades internas cuando el proceso esta detenido [5].

- ◆ Setup en la alimentación de pasta

Tabla 12 Clasificación de actividades en setup de pasta

Actividad	Externa	Interna
Encender cartuchera		●
Subir contenedor de pasta		●
Retirar pasta de contenedor		●
Lubricar cilindro compactador y tapa circular		●
Introducir pasta a cilindro compactador		●
Cerrar cilindro compactador		●
Compactar cilindro		●
Abrir cilindro y retirar cilindro de pasta		●
Colocar cilindro en alimentador de pasta vacio		●
Lubricar cartuchera de alimentador y tapar		●

Consideraciones de la tabla 12:

- Como se puede ver en la tabla 10, las actividades contenidas en el setup de preparación de pasta, se consideran todas internas ya que en el momento de su realización el área de alimentación para la línea 1 de extrusión se encuentra detenida y no puede proveer a la línea los insumos para la producción.
- A pesar de que la parte de preparación de la línea se encuentre detenida la línea 1 de extrusión debe estar ya en marcha con el fin de alcanzar la temperatura requerida por el mismo proceso de extrusión.
- La línea 1 requiere contar con la preparación de pasta para recubrir los electrodos a manufacturar al momento en el que se alcanza la temperatura adecuada al proceso.
- Se debe buscar que el sistema trabaje el menor tiempo posible en vacío.

- Después de la primera orden de producción, el setup en la preparación de pasta debe ser lo mas corto posible con el fin de procurar la flexibilidad de la línea de producción.
- ◆ Setup en la alimentación de alambre (longitud)

Tabla 13 Clasificación de actividades en setup de longitud

Actividad	Externa	Interna
Preparar contenedor de alambre		•
Verificar longitud de alambre		•
Ajustar longitud de paredes para alambre		•
Subir contenedor de alambre		•
Colocar roles cónicos		•

Consideraciones de la tabla 13:

- Las actividades la preparación y verificación de las condiciones del alambre a utilizar son realizadas generalmente de manera interna aunque en ocasiones se hace de forma externa.
- Las actividades de colocación y ajuste son realizadas al inicio de la producción son realizadas tomando en cuenta el desmontaje de herramientas de corridas anteriores.
- Las actividades para la alimentación de la línea 1, son realizadas de manera interna, a pesar de que la línea 1 en su área de extrusión se encuentre operando en vacío.
- ◆ Setup en la alimentación de alambre (diámetro)

Tabla 14 Clasificación de actividades en setup de diámetro

Actividad	Externa	Interna
Verificar diámetro de alambre		•
Colocar roles ranurados		•
Colocar guías cortas		•
Ajuste de roles y guías		•
Preparar cabezal de extrusión		•
Ajustar cabezal y guías		•

Consideraciones de la tabla 14:

- La actividad de verificación del diámetro del alambre a utilizar es realizada generalmente de manera interna aunque en ocasiones se hace de forma externa.
- Las actividades de preparación, colocación y ajuste son realizadas al inicio de la producción son realizadas tomando en cuenta el desmontaje de herramientas de corridas anteriores.
- Las actividades para la alimentación de la línea 1, son realizadas de manera interna, a pesar de que la línea 1 en su área de extrusión se encuentre operando en vacío.

### VII.7 Convertir los setups internos en externos.

Como se puede ver en el análisis de las operaciones de los setup cuentan con operaciones realizadas de forma interna, por lo que las propuestas para conversión de actividades de internas a externas representaran de igual forma alternativas para la disminución de los setup [1]. De tal forma que las acciones de conversión de actividades internas a externas y para la reducción de los setups operan de manera conjunta en el análisis del presente caso.

Por la naturaleza del proceso analizado en donde la parte de preparación de la línea 1, se encuentra detenida al momento de su preparación para alimentar al área de extrusión, las actividades que en el área de preparación se realizan son consideradas como internas. Luego de las observaciones anteriores con respecto a la naturaleza de las actividades contenidas en los setups, se expone una serie de alternativas para la conversión de las actividades de los setup analizados de internas a externas. Tales acciones de conversión y reducción de setups se realizan de manera secuencial partiendo de ideas básicas para la mejora en la operación del setup, hasta acciones mas estructuradas, las alternativas planteadas se describen a continuación.

En lo referente al setup de pasta en donde una de las actividades de mayor tiempo a utilizar para su consecución es la de la preparación del cabezal de extrusión, se dan las siguientes propuestas.

Se propone como primera acción de conversión y reducción la de contar con el material, herramientas y herramientas en el lugar en donde se realiza el setup, lo cual se puede lograr mediante la utilización de un carro contenedor de los implementos mencionados, de tal forma que todas las partes requeridas para la realización del setup se encuentren al alcance de los responsables de la realización de la operación. Además de debe contar con otro carro en donde se coloque los elementos retirados. Una segunda etapa puede ser la determinar un lugar definido para cada elemento para la verificación rápida de la existencia de los elementos requeridos, además de comprobar el correcto estado de las partes antes de la colocación.

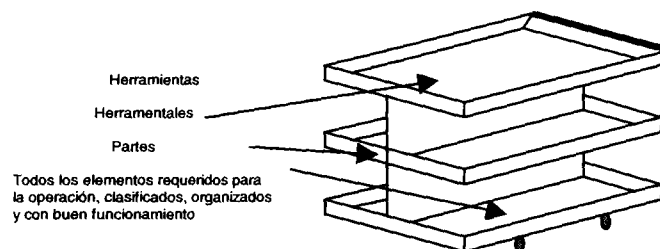


Figura 10 Carro contenedor y organizador de útiles necesarios para el setup.

Una tercera fase sugerida para la conversión de esta acción a externa, y por ende promover la reducción del tiempo en esta actividad, es la de contar con un cabezal disponible paralelamente a la línea de producción, es decir contar con una pieza extra completamente

limpia y lista para el diámetro del siguiente producto a manufacturar. Con lo que se evitara el proceso de desatornillado para la apertura del cabezal y realizar la limpieza interna. Figura 11.

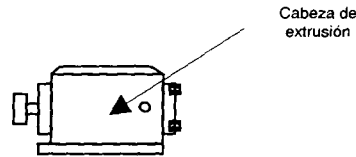


Figura 11 Cabezal paralelo a la línea de producción.

En lo que respecta al setup de longitud, en el cual las actividades que mayor tiempo utilizan son las realizadas para el ajuste y colocación de paredes y roles cónicos, las propuestas para la conversión de tales actividades son las siguientes:

De igual forma que en el tratamiento del setup de pasta, las dos primeras acciones de conversión pueden ser aplicadas a este setup. Una tercera etapa sugerida para la conversión de estas actividades a externas, así como para la reducción del setup de longitud consiste en la modificación de las actividades de colocación y ajuste de paredes y roles para longitud. La manera en la que esto se puede dar es contando con un sistema conjunto de paredes y roles armados o preparados a las diferentes longitudes a utilizar, de manera que se coloque de una vez el paquete (figura 12) y no se tenga que colocar paredes y roles por separado, además de eliminar el ajuste de las partes por separado.

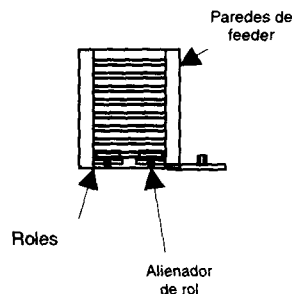


Figura 12 Modulo para setup de longitud paralelo a la línea de producción.

En el setup de diámetro, en el que las operaciones que mayor tiempo requieren son las del ajuste y colocación de guías y roles, además de la preparación del cabezal de extrusión, se propone la conversión de estos elementos de la forma siguiente:

De igual forma que en los setups de pasta y longitud, las dos primeras fases de conversión pueden ser aplicadas a este setup. Una tercera etapa para cambiar estas operaciones a externas y propiciar la reducción del setup de diámetro consiste en la posibilidad de poder colocar los roles y las guías de manera modular (figura 13), es decir no tener que hacerlo de forma separada, con las condiciones del setup de diámetro se verán beneficiadas. Para realizar esta acción se requiere contar con un modulo que contenga guías y roles, para que las partes sea colocadas conjuntamente y no por separado.

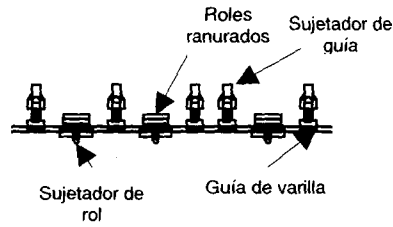


Figura 13 Módulo para setup de diámetro paralelo a la línea de producción.

VII.8 Buscar formas para la disminución de los tiempos de setup.

A partir de la descripción de las actividades de los setups y la definición de su naturaleza (externa o interna) se procede a la realización de las acciones o propuestas que permitan la reducción de los setups analizados [5]. Con el fin de lograr la reducción de los tiempos de setup contenidos en el proceso analizado se propone una serie de alternativas que van desde estandarización de los procesos contenidos en los setup, el establecimiento de controles visuales hasta cambios en herramientas y equipo usado en los setups estudiados.

◆ Propuesta para la reducción del setup de pasta

Para la realización de las posibles acciones de mejora orientadas a la reducción de los setup, se analizan a detalle las actividades del setup de preparación de pasta para el recubrimiento de electrodos, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 15 Actividades del Setup de pasta

Actividad	Proceso
Encender cartuchera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presionar botón de encendido de cartuchera</li> </ul>
Subir contenedor de pasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sujetar contenedor de pasta con gancho de grúa</li> <li>• Subir contenedor</li> <li>• Colocar contenedor a la entrada de cilindro de la cartuchera</li> <li>• Bajar y soltar contenedor de pasta</li> </ul>
Retirar pasta de contenedor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acercar pasta del contenedor con pala a entrada de cilindro</li> </ul>
Lubricar cilindro compactador y tapa circular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricar con glicerina y franela limpia el cilindro y la tapa circular</li> </ul>
Introducir pasta a cilindro compactador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depositar pasta en cilindro con pala</li> </ul>
Cerrar cilindro compactador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerrar tapa circular de cilindro</li> </ul>
Compactar cilindro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presionar botón de encendido para accionar pistón y compactar pasta</li> </ul>
Abrir cilindro y retirar cilindro de pasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presionar botón para detener compactador</li> <li>• Abrir cilindro y retirar manualmente el cartucho de pasta</li> </ul>
Colocar cilindro en alimentador de pasta vacío	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar manualmente cilindro en cilindro alimentador de pasta</li> </ul>
Lubricar cartuchera de alimentador y tapar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricar cartuchera con glicerina y colocar tapa</li> </ul>
Preparación de cabezal de extrusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza externa de cabezal con espátula</li> <li>• Abrir cabezal desatornillándolo</li> <li>• Retirar guías de electrodo</li> <li>• Limpiar internamente cabezal</li> <li>• Ajustar guías de electrodo</li> <li>• Cerrar cabezal</li> </ul>

Una alternativa para la reducción del setup en la alimentación de pasta para el recubrimiento de los electrodos a manufacturar, se puede determinar luego de observar las actividades contenidas en el setup y sus tiempos de duración. Como se puede ver en la tabla 7, la actividad con mayor tiempo registrado se presenta en la preparación del cabezal de extrusión, el cual es parte de la etapa de alimentación por lo tanto la propuesta para reducción del setup de pasta se centra en esta etapa. El cabezal de extrusión en donde se pretende realizar las acciones de mejora se muestra en la figura 14.

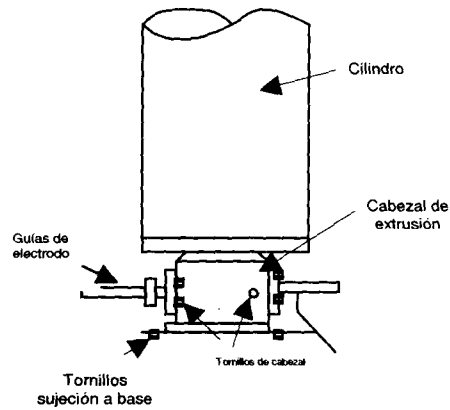


Figura 14 Cabezal de extrusión

Para la reducción de esta actividad se considera como primera fase, la conversión de actividades interna a externas, al contar con el carro contenedor de los elementos requeridos para la operación debidamente localizados y verificados. Una segunda etapa para la reducción es la de del cambio del sistema de sujeción actual, el cual se basa en el uso de tortillería con rosca corrida y en dos medidas diferentes, por lo que para ser removidos deben ser desenroscados totalmente, además de demandar el uso de dos llaves de diferente medida. Por lo que se propone contar con pernos de rosca acanalada con el fin de aflojar y apretar con una sola vuelta lo que brindara la reducción de la actividad. En la figura 15, se muestra el método sugerido de la rosca acanalada.



Figura 15 Rosca acanalada.

Una tercera fase para la reducción es la de propuesta de la reducción del tiempo de preparación con la posible eliminación de las actividades internas como abrir el cabezal, aflojándolo y retirando los tornillos, además de las guías y realizando la limpieza interna del cabezal, pudiendo lograr lo anterior con base a la propuesta de contar con un modulo completo de cabezal paralelo a la línea de producción preparada de acuerdo a las condiciones de secuenciación de la producción. Una consideración importante para la reducción del tiempo del setup es la colocación del cabezal sobre la base del área de trabajo, lugar en donde se colocarían topes para eliminar los ajustes en la posición del cabezal y solo se presente una única posición posible para el cabezal. La figura 16 muestra los topes para evitar ajustes en la colocación de la pieza.

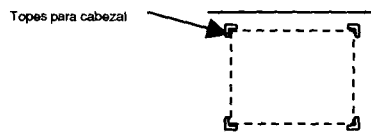


Figura 16 Topes para cabezal.

♦ Propuesta para la reducción del setup de alimentación de alambre (longitud)

Tabla 16 Actividades del Setup de longitud

Actividad	Proceso
Preparar contenedor de alambre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asegurar contenedor de alambre listo para utilizar</li> </ul>
Verificar longitud de alambre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar longitud de alambre para seleccionar paredes y roles a utilizar</li> </ul>
Ajustar longitud de paredes para alambre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar y atornillar paredes de feeder para longitud de alambre</li> </ul>
Subir contenedor de alambre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ganchar y subir con grúa contenedor y colocar en posición para alimentar alambre, desganchando contenedor</li> </ul>
Colocar roles cónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajustar roles cónicos con tuerca sucesora con maneral</li> </ul>

El desarrollo de las actividades que se pretenden reducir se localizan en la parte de preparación de la línea 1, esta área se indica en la figura 17.

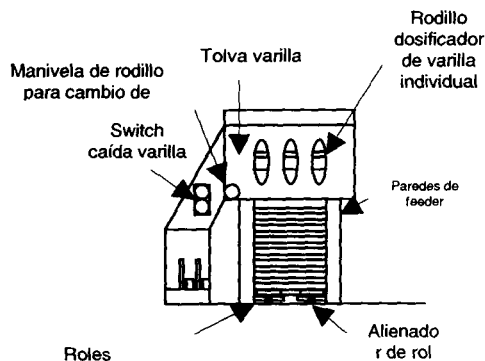


Figura 17 Paredes de feeder y roles cónicos.

Para disminuir la actividad se realiza una primera fase, la conversión de actividades interna a externas, por medio del carro contenedor de los elementos requeridos para la operación debidamente localizados y verificados. Una segunda fase para la reducción es la del cambio del sistema de sujeción actual, recomendándose realizar tal acción de igual forma en que se propone para el setup de pasta (rosca acanalada). Una tercera fase para la reducción es la de propuesta de la reducción del tiempo de preparación de longitud es la colocación de la parte (paredes y roles), de tal forma que se coloque el modulo en una sola posición posible para evitar ajustes en su colocación. Considerando que para el cambio de longitud (debido a la secuencia de producción) se recorrerá una de las paredes mediante correderas, las cuales sean aseguradas para no presentar movimientos durante la manufactura de un producto, pero al momento de requerir cambios de longitud solamente se quite el tornillo sujetador (rosca acanalada) y estén libres para tomar una nueva posición. Un aspecto importante para la reducción de este setup es la colocación del modulo en una sola posición por medio de topes para eliminar los ajustes en la colocación. En la figura 18, se muestra la forma en la que el modulo es sujetado con los topes, además uno de estos contendrá la corredera mencionada y se sujeta colocado con un tornillo de rosca acanalada.

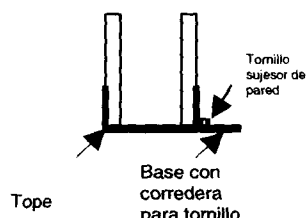


Figura 18 Sujetores y topes para modulo.

- ♦ Propuesta para la reducción del Setup en la alimentación de alambre (diámetro)

Tabla 17 Actividades del Setup de diámetro

Actividad	Proceso
Verificar diámetro de alambre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar longitud de alambre para seleccionar roles, guías y nip a utilizar</li> </ul>
Colocar roles ranurados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar y ajustar roles con tuerca sucesora con maneral</li> </ul>
Colocar guías cortas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar guías a usar ajustándolas con los sucesores de presión</li> </ul>
Ajuste de roles y guías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajuste entre roles y guías asegurando linealidad para el paso del electrodo</li> </ul>
Preparar cabezal de extrusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abrir cabezal desatornillando y colocar nip a utilizar de acuerdo a producto</li> </ul>
Ajustar cabezal y guías	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar linealidad y excentricidad para el paso del alambre entre cabezal y guías</li> </ul>

Las actividades del setup para la preparación del diámetro se localizan en la parte de preparación de la línea 1, esta área se indica en la figura 19.



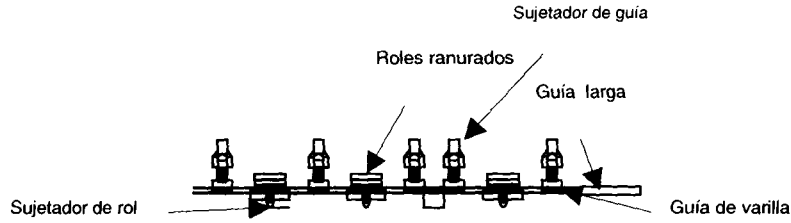


Figura 19 Roles cónicos y guía.

Una primera fase de reducción es la aplicación de la alternativa usada para la disminución de los anteriores setups. Para la segunda etapa de reducción respecto al cambio en el sistema de sujeción, se propone hacerlo de igual forma que en los setup anteriores, (rosca acanalada). La etapa tres para la reducción es la propuesta de la reducción del tiempo del setup de diámetro colocando guías y rolos de manera modular en una sola posición posible, evitando ajustes en su colocación. Tomando en cuenta la colocaron del modulo en una sola posición posible por medio de topes para eliminar los ajustes en la colocación, de la misma manera que se pretende realizar en los setups anteriores.

Luego de observar las propuestas de solución para los setups analizados, en la tabla 18 se exponen de manera breve las actividades para la conversión de actividades a externas y la reducción de los setups durante las fases sugeridas de mejora, considerando los tiempos actuales de setup, así como los estimados de reducción por cada propuesta de mejora y los porcentajes de reducción en base a la etapa anterior. Cabe señalar que la estimación de la reducción en los setup se considera mediante la proporción del tiempo del setup actual que se reduciría con las propuestas enunciadas. Tal estimación se realizó físicamente con el poyo del personal encargado de las actividades de preparación.

Tabla 18 Alternativas para reducción de setups.

Setup	Tiempo actual	Etapa 1: Conversión externa y reducción			Etapa 2: Conversión externa y reducción			Etapa 3: Conversión externa y reducción		
		Propuesta	Tiempo estimado	% reducción	Propuesta	Tiempo estimado	% reducción	Propuesta	Tiempo estimado	% reducción
Setup pasta	45	Carro contenedor	38	15.56	Sistema de sujeción	25	34.21	Modulo de cabezal	17	32.00
Setup longitud	50	Carro contenedor	40	20.00	Sistema de sujeción	27	32.50	Modulo paredes rolos	15	44.44
Setup diámetro	70	Carro contenedor	56	20.00	Sistema de sujeción	39	30.36	Modulo rolos y guías	19	51.28

Como se puede observar en la tabla 18 la reducción en los setup esta dada por la disminución que representan las actividades de mejora propuestas. Una consideración importante a las alternativas de solución propuestas es el tomar en cuenta algunos factores como la facilidad de la mejora, la factibilidad o posibilidad de la implementación, el costo de las propuestas, la dificultad organizacional que representan las alternativas, el tiempo de implantación, la aceptación de los cambio en el piso de producción, entre otros elementos, para la evaluación y selección de las opciones de mejora a realizar.

Tal proceso de decisión corresponde al equipo propuesto para la implementación de las acciones de mejora y a la empresa en donde se realiza el presente análisis, por lo que en este documento solamente se presentan las alternativas posibles de mejora como propuestas que pueden ser implementadas por la organización.

#### VII.9 Implementar mejoras.

En esta etapa se deben poner en marcha las acciones propuestas para la reducción de los setup [1], por lo que en el presente artículo se supone la aplicación de las acciones recomendadas con el fin de estar en condiciones de observar una reducción en los tiempos de setup y poder estimar o realizar la medición de los nuevos tiempos de proceso en el periodo de producción observado para el estudio.

#### VII.10 Monitorear los resultados y medir el desempeño.

Para el monitoreo y la medición en el desempeño [7], del proceso de la línea 1 luego de las acciones de reducción de los setup es necesario verificar y evaluar el tiempo real del ciclo producción considerando nuevamente el periodo del mes de Febrero de 2004, de acuerdo a la demanda de producción presentada en ese tiempo.

En la tabla 19 se observa el nuevo tiempo de ciclo después de la reducción de los setups de longitud, diámetro y pasta, localizados en el área de preparación de la línea 1, considerando la fase tres de mejoramiento propuesta para la disminución de los setups analizados.

La determinación de los tiempos requeridos para producción se realiza de igual manera que la estimación del tiempo de producción antes de la reducción de los tiempos de ciclo.

Tabla 19 Resultados del evaluador después de la reducción de los setup

EVALUADOR							
No de Orden	Clave	Cantidad	Color	Tpo de Extrusion	Setup max	Tiempo por Producto	Tpo Acumulado
1	E7H3/1618	23000	gris	42.3	19	1316.20	1316.20
2	EH5/3218	45000	gris	62.6	19	3775.00	5091.20
3	AB101/81806	30000	café bajo	63.9	19	2575.00	7666.20
4	EH1/818	20000	gris	63.9	17	1721.00	9387.20
5	EA1/814CT	31000	gris bajo	54.2	19	2259.27	11646.47
6	A105/3218	6000	café bajo	62.5	19	519.00	12165.47
7	EH1/818	30000	gris	63.9	17	2573.00	14738.47
8	AA1/814L	31000	gris bajo	54.2	17	2257.27	16995.73
9	E11/814QP	4311	gris	58	17	350.38	17346.12
10	A105/3218	2400	café bajo	62.5	19	219.00	17565.12
11	EH5/3218	20000	gris	62.6	17	1686.33	19251.45
12	A105/3218	14000	café bajo	62.5	17	1183.67	20435.12
13	E13/1614L	3952	gris	42.5	19	242.95	20678.06
14	AB101/81806	35000	café bajo	63.9	19	3001.00	23679.06
15	EH1/818	20000	gris	63.9	17	1721.00	25400.06
16	AB101/81806	1200	café bajo	63.9	17	119.24	25519.30
17	E7AA1/818	1000	gris bajo	54.2	17	89.27	25608.57
18	E11/814QP	10853	gris	58	17	856.30	26464.87
19	AG B103/3214	17100	café bajo	65.8	19	1519.24	27984.11
20	ESH3/3214	10800	gris	65.8	17	964.52	28948.63
21	7A3/3214	7280	gris bajo	61.8	17	616.87	29565.50
22	AB101/81806	1200	café bajo	63.9	19	121.24	29686.74
23	E7AA1/818	1000	gris bajo	54.2	17	89.27	29776.01
24	E11/814QP	7185	gris	58	17	572.64	30348.65
25	HE1/818	8000	gris	70.4	15	765.93	31114.58
26	A105/3218	7000	café bajo	62.5	19	602.33	31716.91
27	EH3/3214	5000	rojo	30.8	19	224.33	31941.25
28	ES1/814QP	4080	blanco	38.2	19	226.81	32168.06
29	EH3/3214	5000	rojo	30.8	19	224.33	32392.39
30	ES5/3214QU	1360	blanco	32.2	19	77.39	32469.78

Del análisis de la tabla 11 y 19 se puede determinar la diferencia en los tiempos de ciclo finales del periodo analizado, en donde se observa la reducción en el tiempo total de producción después de las acciones para la reducción de los set-ups atacados, En la tabla 20 se puede ver el tiempo reducido y el porcentaje total de reducción del setup después de las acciones de mejora en su tercera etapa con respecto al periodo de tiempo analizado.

Tabla 20 Reducción de set-ups.

Reducción minutos	% Reducción (en promedio para los tres set-ups)
1202	69

Ahora que se determino el posible beneficio en cuanto a los tiempos ahorrados, es importante que se defina el beneficio de tales reducciones en términos monetarios, para lo cual se debe conocer la mejora que este ahorro de tiempo representa en cuanto a la efectividad del sistemas de producción de la línea 1. Para esto se utilizara el concepto de la efectividad (ETE), el cual se define a partir de la disponibilidad absoluta de un sistema de producción, la eficiencia en la velocidad (real contra diseño) y la calidad a la primera intención. Por lo tanto para la aplicación del ETE en el presente análisis se presenta a continuación.

$$\begin{array}{cccccc}
 \text{EFICIENCIA DE LINEA 1} & = & \text{DISPONIBILIDAD ABSOLUTA} & * & \text{EFICIENCIA EN VELOCIDAD VS DISEÑO} & * & \text{CALIDAD DE PRIMERA INTENCIÓN} \\
 0.50 & = & 0.80 & * & 0.72 & * & 0.91
 \end{array}$$

Aunque cada factor individual tiene un aceptable desempeño, existe un 50% de oportunidad para mejorar

En términos financieros, la línea absorbe adecuadamente sólo el 50% de sus costos fijos, el resto es desperdicio.

Los valores utilizados en los elementos confortantes del ETE corresponden a información brindada por la empresa, además el valor de ETE obtenido corresponde a los tiempos de setup actuales. En la tabla 21 se muestran los ETE's calculados a partir de las fases de mejora, reducción de los setup y el mismo aumento del tiempo disponible de operación. Los valores de ETE para las fases, se realizan de la misma forma en que se determino el ETE de la condición actual

Tabla 21 ETE's de la línea 1.

Factores	Condición actual	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Disponibilidad absoluta	0.80	0.83	0.87	0.93
Eficiencia en velocidad VS diseño	0.71	0.71	0.71	0.71
calidad de primera intención	0.91	0.91	0.91	0.91
ETE	0.50	0.54	0.56	0.60

De la tabla 21 vemos en términos monetarios que actualmente se aprovecha el 50% de los costos fijos y por medio de las acciones de mejora se puede lograr un aprovechamiento del 60% de los costos fijos.

Conociendo los valores de ETE para cada una de las etapas de reducción, se procede a la determinación del valor monetario de dichas reducciones, considerando los costos fijos incurridos en la operación, los cuales se proporcionaron por parte de la empresa. El aumento en el aprovechamiento de estos costos con relación a los ETE's calculados para cada fase de mejora y la reducción en los costos de operación con respecto al valor de una pieza es expuesto en la tabla 22.

Tabla 22 Aprovechamiento del costo fijo.

Costo fijo \$	Condición actual \$	Fase 1 \$	Fase 2 \$	Fase 3 \$
1.25	.62	.67	.70	.75

De la tabla 22 se desprende que por medio de la reducción de setups es posible obtener un mejor aprovechamiento de los costos fijos usados en la operación, logrando aprovechar \$ 0.75 de \$1.25 que representan el costo fijo para un electrodo manufacturado en la línea 1, en comparación con los \$ 0.62 que actualmente se aprovechan, por lo que se da una

reducción en el costo de operación en \$ 0.13. Si consideramos la cantidad de producción promedio por día de 400,000 electrodos aproximadamente, los costos fijos a usar serán de alrededor de los \$ 500,000.00, de los cuales con las condiciones actuales de producción se absorbería adecuadamente solo el 50%, pero luego de las acciones de mejora se tendrá un aprovechamiento de 75 %, lo que se traduce en un ahorro con respecto al correcto uso de los costos fijos de alrededor de \$ 50,000.00.

#### VII.11 Estandarizar las mejoras realizadas.

Al haber comprobado la mejora en la operación de la línea 1, con respecto a la reducción de los setups es necesario que las condiciones de operación se mantengan, lo cual debe ser procurado por medio de la estandarización y documentación de las nuevas prácticas [7], de manera tal que no se incurra en tiempos muertos al momento de la realización de los setups. La documentación de las nuevas formas de trabajo, así como la capacitación al personal responsable de la realización de los setups es responsabilidad del personal de la organización en donde se realiza la presente investigación.

#### VII.12 Aplicación de Kaizen para la continua disminución de los setups.

Concluidas las primeras acciones de mejora para disminuir los setups, es necesario que dentro de la organización se promueva una cultura de mejora [11], continua con el fin de la búsqueda constante y sistemática de la reducción de los setups con el fin de contribuir al desempeño esbelto del área de operación de la empresa analizada [7].

#### VII.13 Localizar nuevo setup crítico.

La idea de la mejora continua está directamente ligada a la propuesta de continuar atacando los nuevos setups críticos para el proceso [5], no solo de la línea 1 estudiada en este artículo, sino en todo proceso que pretenda cumplir con los principios de la ME. Una forma de detectar los nuevos setups puede ser realizada mediante el proceso seguido para la detección de los setups atacados en el caso de estudio.

#### VII.14. Determinar que hacer con los tiempos de setup ahorrados.

La determinación de las acciones a realizar durante los tiempos de producción disponibles luego de realizar las acciones de reducción de setups y promover un sistema de producción esbelto [9], deben ser determinadas de acuerdo a los requerimientos de las organizaciones. Teniendo en cuenta los aspectos relevantes que pueden permitir a las empresas el establecimiento de ventajas competitivas ante la competencia con la idea de promover mejores niveles de servicio y satisfacción para los clientes [1]. Por lo tanto las organizaciones deben conocer las condiciones del mercado para determinar de forma acertada el uso de los tiempos disponibles de acuerdo a los requerimientos observados en el mercado.

Algunas propuestas de uso para estos tiempos, al considerar algunos requerimientos en las empresas se han expuesto en la sección VI de este documento, con el fin de contribuir al impulso de una cultura esbelta de operación en las organizaciones.

Una alternativa para el uso de los tiempos disponibles después de la reducción de los setups, en la empresa en la cual se realiza el presente estudio, dadas las condiciones actuales de operación de la organización, las cuales indican que la empresa por el momento cuenta con la capacidad necesaria de producción para la satisfacción de la demanda de sus clientes, puede ser la de usar los tiempos ahorrados con el fin de generar una mayor frecuencia de setups. Esto para generar lotes pequeños y variados (los cuales actualmente son requeridos por los clientes), además de estar en condiciones de generar una operación flexible, así como buscar la reducción en los niveles de inventario y sus costos. Todo con la idea de promover el desempeño de la empresa para cumplir satisfactoriamente las necesidades de los clientes.

## VIII Conclusiones

Una de las formas en la que las organizaciones pueden cumplir con requerimientos del mercado actual, es mediante la práctica de operaciones esbeltas evitando a toda costa las acciones que no agreguen valor o los desperdicios. Por tanto la metodología propuesta es una buena opción para mejorar el desempeño organizacional, ya que por medio de la identificación y reducción de los setups crítico, así como determinar del uso de los tiempos liberados se pueden conseguir beneficios como la reducción de los setups, la reducción de tiempos de ciclo, la reducción de tiempos de entrega, el aumento de flexibilidad en operación, la disminución de lotes, la disminución de costos de producción y la satisfacción del mercado.

Además de las aportaciones anteriores la metodología contribuye a la selección de los usos del tiempo liberado de acuerdo a los requerimientos de las empresas, siendo esta parte una aportación importante de la metodología, ya que al ser comparada con otros trabajos relacionados a formas de mejoramiento con respecto a la disminución de setups [16], no se encontraron estudios en los que claramente se realicen las etapas de las que consta la actual metodología, por lo tanto no es fácil poder observar estudios de reducción de setups en los que se incluya una parte para la determinación de acciones a realizar con los tiempos liberados, ya que solamente se enfocan en la reducción de los setups remarcando las mejoras provocadas por tales disminuciones pero no se encargan de nada mas, por lo que no se determina el posible uso de los nuevos tiempos disponibles. Aspecto que si es tomado en cuenta en la metodología expuesta en este documento, así como el considerar una fase previa a la reducción de setups, en donde primeramente se localiza el tiempo de preparación a ser atacado.

Por lo tanto la metodología para localizar y reducir setups y definir alternativas a realizar con los tiempo libres, resulta una buena opción para mejorar los niveles de desempeño dentro en las organizaciones, debido a los beneficios ya mencionados que se pueden generar.

Es también importante considerar que para aplicaciones futuras con respecto a la metodología desarrollada se puede tomar en cuenta el aspecto de la secuenciación de la producción con la idea de utilizar técnicas que promuevan la generación de mejores secuencias para la reducción de los tiempos de preparación.

### **Referencias**

- [1] Shigeo Shingo, 1993, una revolución en la producción: el sistema SMED, Productivity Press, Pórtland, Oregon.
- [2] Steve L.Hunter, 2003, An introduction to lean production systems Step One: Re-engineer Manufacturing, FDM.
- [3] Paddy Baker, 2000, Every second...counts, Works Management, Horton Kirby, Primavera.
- [4] Wallace J. Hopp, Spearman, Mark L., 2000, Factory Physics, Mc Graw Hill, Boston.
- [5] Shigeo Shingo, 1991, Producción sin stocks: el sistema Shigeo para la mejora continua, Productivity Press, Cambrigdge, Massachussets y Norwalk, Connecticut.
- [6] George Alukal, 2003, Create a lean, mean machine, Quality Progress, Primavera.
- [7] Jim Lewis 2002, Speed up your setups, Lean manufacturing requires a continuous effort to reduce or eliminate the time required for setups and changeovers, UDM, Verano.
- [8] PRODUCTION MANAGEMENT Lean for all, 2003 Metalworking Production, Verano, London.
- [9] Vivek Sharma, 2001, SMED for high-mix assembly Circuits Assembly, ProQuest Computing, Primavera.
- [10] Anonymous, 2003, How to enjoy losing time, Management Services, Primavera.
- [11] R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham Y G. W. Owen, 2000, A critical evaluation of Shingo's `SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology, INT. J. Prod. Res.
- [12] Leschke, John P., 1997, The Setup-Reduction Process: Part 1, Production & Inventory Management Journal.
- [13] Richard McIntosh, Steve Culley, Graham Gest, Tony Mileham and Geraint Owen, 2004, Role of design in changeover performance "An assessment of the role design in the improvement of changeover performance, School of Mechanical Engineering, University of Bath, UK.
- [14] Freeland, James R.; Leschke, John P.; Weiss, Elliott N., 1990, Guidelines for Setup-Cost Reduction Programs to Achieve Zero Inventory, Journal of Operations Management, Invierno.
- [15] Anonymous, 1998, Set it up before shutting it down. Beverage World, Verano.
- [16] Richard Greatbanks, 2001, Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: A study, The International Journal of Quality & Reliability Management.

Es también importante considerar que para aplicaciones futuras con respecto a la metodología desarrollada se puede tomar en cuenta el aspecto de la secuenciación de la producción con la idea de utilizar técnicas que promuevan la generación de mejores secuencias para la reducción de los tiempos de preparación.

### **Referencias**

- [1] Shigeo Shingo, 1993, una revolución en la producción: el sistema SMED, Productivity Press, Pórtland, Oregon.
- [2] Steve L.Hunter, 2003, An introduction to lean production systems Step One: Re-engineer Manufacturing, FDM.
- [3] Paddy Baker, 2000, Every second...counts, Works Management, Horton Kirby, Primavera.
- [4] Wallace J. Hopp, Spearman, Mark L., 2000, Factory Physics, Mc Graw Hill, Boston.
- [5] Shigeo Shingo, 1991, Producción sin stocks: el sistema Shigeo para la mejora continua, Productivity Press, Cambrigdge, Massachussets y Norwalk, Connecticut.
- [6] George Alukal, 2003, Create a lean, mean machine, Quality Progress, Primavera.
- [7] Jim Lewis 2002, Speed up your setups, Lean manufacturing requires a continuous effort to reduce or eliminate the time required for setups and changeovers, UDM, Verano.
- [8] PRODUCTION MANAGEMENT Lean for all, 2003 Metalworking Production, Verano, London.
- [9] Vivek Sharma, 2001, SMED for high-mix assembly Circuits Assembly, ProQuest Computing, Primavera.
- [10] Anonymous, 2003, How to enjoy losing time, Management Services, Primavera.
- [11] R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham Y G. W. Owen, 2000, A critical evaluation of Shingo's `SMED' (Single Minute Exchange of Die) methodology, INT. J. Prod. Res.
- [12] Leschke, John P., 1997, The Setup-Reduction Process: Part 1, Production & Inventory Management Journal.
- [13] Richard McIntosh, Steve Culley, Graham Gest, Tony Mileham and Geraint Owen, 2004, Role of design in changeover performance "An assessment of the role design in the improvement of changeover performance, School of Mechanical Engineering, University of Bath, UK.
- [14] Freeland, James R.; Leschke, John P.; Weiss, Elliott N., 1990, Guidelines for Setup-Cost Reduction Programs to Achieve Zero Inventory, Journal of Operations Management, Invierno.
- [15] Anonymous, 1998, Set it up before shutting it down. Beverage World, Verano.
- [16] Richard Greatbanks, 2001, Prerequisites for the implementation of the SMED methodology: A study, The International Journal of Quality & Reliability Management.



Apéndice: Perfiles de producción por artículo manufacturado en el mes de Febrero de 2004.

Relación de gráficos y productos.					
EH1/818	1	7A3/3214	8	EM1/818C20	15
EH5/3218	2	AG B103/3214	9	AA5/3214#L	16
AB101/81803	3	S1/81450A	10	ES11/814C	17
AA1/814L	4	E1/818PR	11	E18H1/814	18
A105/3218	5	S145/321450C	12	AB101/81806	19
ESH3/3214	6	E1MG5/321820	13	ES145/3214C	20
E7H3/1618	7	HE1/818	14	EH5/3214	21

Los gráficos 1 y 2 se presentan como parte de la sección VII.4

