



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**  
**CAMPUS GUADALAJARA**

**"REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO DE MODELO EN  
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE TARJETAS DE CIRCUITO  
IMPRESO BASADAS EN LA TECNOLOGÍA DE MONTAJE  
SUPERFICIAL UTILIZANDO UNA METODOLOGÍA DMAIC DE SEIS  
SIGMA COMBINADA CON PRIMERA Y SEGUNDA FASE DE  
SMED"**

**MARIO HUMBERTO AGUILAR PALAFOX  
ERNESTO MIGUEL HERNÁNDEZ MONTES**

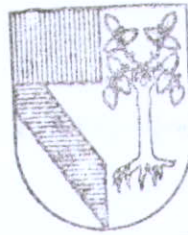
Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en  
Optimización de Sistemas Productivos con  
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la  
**SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,**  
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Abril de 2006



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

## CAMPUS GUADALAJARA



UNIVERSIDAD PANAMERICANA  
CAMPUS GUADALAJARA  
BIBLIOTECA

**“REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO DE MODELO EN  
LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE TARJETAS DE CIRCUITO  
IMPRESO BASADAS EN LA TECNOLOGÍA DE MONTAJE  
SUPERFICIAL UTILIZANDO UNA METODOLOGÍA DMAIC DE SEIS  
SIGMA COMBINADA CON PRIMERA Y SEGUNDA FASE DE  
SMED”**

**MARIO HUMBERTO AGUILAR PALAFOX  
ERNESTO MIGUEL HERNÁNDEZ MONTES**

Tesis presentada para optar por el grado de Maestro en  
Optimización de Sistemas Productivos con  
Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 994189 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., Abril de 2006

CLAS: TE\_MOS\_2006\_A60

ADQUIS: 61944 Ej: 1

FECHA: 16/02/07

DONATIVO DE S.E

\$ \_\_\_\_\_

[132] h. : il, diagrs., gráfs.; 29 cm. + 1 disco óptico de computadora; 4 3/4 plg.

Publicado también en forma electrónica en formato PDF a través de World Wide Web

G70.42 A60 2006

Tesis (Maestría) - Universidad Panamericana Campus Guadalajara, 2006

Bibliografía: h. 126

1. Tesis y disertaciones académicas - Universidad Panamericana Campus Guadalajara
2. Métodos de líneas de ensamblado
3. Procesos de manufactura



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**  
CAMPUS GUADALAJARA

MAESTRÍA EN OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

**DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO.**

Febrero 2006

SRES. MARIO HUMBERTO AGUILAR PALAFOX y ERNESTO MIGUEL HERNÁNDEZ MONTES  
Presentes.

En mi calidad de presidente de Comisión de Exámenes de Grado y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por ustedes en la alternativa de TESIS, titulado;

“REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO DE MODELO EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO BASADAS EN LA TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL UTILIZANDO UNA METODOLOGÍA DMAIC DE SEIS SIGMA COMBINADA CON PRIMERA Y SEGUNDA FASE DE SMED”

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado por lo que deberá de entregar siete ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

Mtro. Francisco Inmanol Ertze Encinas  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN



**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**  
CAMPUS GUADALAJARA

MAESTRÍA EN OPTIMACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

Enero de 2006

MTRO. FRANCISCO INNMANOL ERTZE ENCINAS  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE  
EXÁMENES DE GRADO.  
P R E S E N T E:

Me permito hacer de su conocimiento que MARIO HUMBERTO AGUILAR PALAFOX y ERNESTO MIGUEL HERNÁNDEZ MONTES de la Maestría en Optimación en Sistemas Productivos, han concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa TESIS, titulado:

“REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO DE MODELO EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO BASADAS EN LA TECNOLOGÍA DE MONTAJE SUPERFICIAL UTILIZANDO UNA METODOLOGÍA DMAIC DE SEIS SIGMA COMBINADA CON PRIMERA Y SEGUNDA FASE DE SMED”

Manifiesto que, después de haber dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

*Mtra. Concepción F.*

Mtra. María Concepción Fernández García  
ASESOR DE TESIS

*Agradezco a Dios que permitió mi primer aliento en una fría mañana de invierno.*

*Agradezco a mis Padres que en base a un ejemplar amor, sacrificaron su tiempo y recursos en forjarme como el imperfecto ser humano que ahora soy, a ti Madre de quien no recuerdo más que ternura, paciencia y un deseo constante por vivir y sé que desde el Cielo siempre cuidarás por mí y por aquellos que quiero y amo. A ti Padre, de quien siempre recibí apoyo y motivación para ser mejor cada día.*

*A ti Patricia, que llevaste todo el peso de este esfuerzo , fuiste quien siempre me alentó y no me dejó caer ningún solo instante, soportaste mis desvelos y fines de semana de trabajo y tu bien sabes que esta obra también es tuya.. Vayamos por más éxitos amor mío.*

*A ti Ángela, quién fuiste concebida durante este proceso de preparación y te convertiste en el motor de mi superación y en el de tu madre.*

*A mis compañeros y especialmente a ti buen Neto, que con su granito de arena contribuyeron a que su servidor se allegara de tantas experiencias y conocimiento que sin duda aprovecharé el resto de mi vida.*

*Finalmente agradezco a mi alma mater, la Universidad Panamericana Campus Guadalajara, por la calidad humana de sus directivos, profesores y auxiliares, créanme que desde la primera plática con Francisco Ertze no dudé de que eran los indicados para que éste humilde servidor se convirtiera en dos años de preparación en un mejor hombre, mejor esposo y mejor padre de familia*

*Mario Humberto Aguilar Palafox*

## Agradecimientos

*Quiero agradecer en primer lugar a Dios por haberme brindado la oportunidad de realizar una meta tan importante en mi vida, por haberme dado las herramientas necesarias en todos los sentidos para lograr esta Maestría.*

*Agradezco mi Madre por su apoyo incondicional y por darme todo lo que estuviera a su alcance para lograr mis objetivos.*

*Agradezco a mi Padre y a mi Abuela por toda su ayuda brindada durante este ciclo tan importante en mi vida.*

*Agradezco todos y cada uno de mis compañeros y amigos que tuve cerca en cada clase, trabajo o examen pues con su ayuda y esfuerzo contribuyeron a que esto fuera realidad. En especial a mi amigo Mario con quien juntos hicimos realidad un sueño y plasmados en este trabajo, hoy en día digno fruto que nos ha dado esta Maestría.*

*Agradezco a mi Universidad Panamericana porque desde un principio me abrió sus puertas y me brindó toda su ayuda y apoyo para que yo pudiera continuar adelante en mi preparación académica, personal y profesional.*

*Muchas Gracias Universidad Panamericana, muchas gracias Mario, muchas gracias compañeros y amigos, muchas gracias Abuelita, muchas gracias Padre, muchas gracias Madre; pero sobre todo, muchas gracias a ti Dios mío.*

*Ernesto Miguel Hernández Montes*

# INDICE

## CAPITULO I

Págs.

1.1 Introducción .....	2
1.2 Justificación .....	3
1.3 Objetivo de la tesis	
1.4 Hipótesis.....	4
1.5 Marco de referencia	
1.6 Metodología	
1.7 Recursos.....	5

## CAPITULO II ¿Qué es la tecnología de montaje superficial?

2.1 Introducción.....	7
2.2 Los nuevos tipos de componentes.....	8
2.3 Nuevas técnicas de montaje .....	11
2.4 Nuevas técnicas de ensamble	
2.5 Las nuevas técnicas de las pruebas .....	20

## CAPITULO III Creación de un ambiente y modelos de manufactura para bajo volumen y variedad de productos

3.1 Introducción.....	25
3.2 Familias de producto.....	26

## **CAPITULO IV Las 5 S**

4.1 Introducción.....	33
4.2 Esquema para la acción con 5 S.....	34
4.3 Pasos de las 5 S	

## **CAPITULO V Metodología seis sigma**

5.1 Introducción.....	40
5.2 Lo que no es seis sigma.....	41
5.3 Elementos clave .....	42
5.4 La magia del DMAIC.....	43

## **CAPITULO VI Estudios GR&R**

6.1 ¿Por qué GR&R?.....	48
6.2 ¿Cómo surge y en dónde utilizar GR&R?.....	49
6.3 Variación del sistema o proceso y sus elementos.....	50
6.4 Exactitud vs. Precisión.....	54
6.5 Algo de teoría estadística para el GR&R .....	55
6.6 Preparación para el GR&R .....	55
6.7 Procedimiento para GR&R.....	57
6.8 Implementando GR&R.....	58

## **CAPITULO VII SMED y la reducción de ajustes**

7.1 Introducción.....	62
7.2 ¿Por qué SMED es importante para las industrias y su personal? .....	63
7.3 Tipos de ajuste y su procedimiento.....	64

7.4 Implementación del SMED .....	65
7.5 Desperdicio de Ajuste Interno .....	68
7.6 Selección del equipo de trabajo.....	70

## **CAPITULO VIII Proceso de cambio de modelo en SMT**

8.1 Introducción.....	73
8.2 Preparación de Materiales.....	73
8.3 Preparación de la línea de SMT.....	75
8.4 Implementación del SMED .....	76
8.5 Medición del tiempo de cambio de modelo.....	78

## **CAPITULO IX Los elementos humanos en el manejo de operaciones**

9.1 Introducción.....	81
9.2 Los elementos humanos en el manejo de operaciones .....	82

## **CAPITULO X Principios en práctica**

10.1 Introducción .....	86
10.2 Fase 1: Definición .....	86
10.3 Fase 2. Medición .....	90
10.4 Fase 3. Analizar .....	93
10.5 Fase 4. Mejorar.....	105
10.6 Otras Mejoras. Generación de matriz de procesos y agrupación por familias.....	110
10.7 Fase 5. Controlar.....	114
10.8 Resultados.....	115
10.9 Costos de Implementación.....	117
10.10 Beneficios de la Implementación de la metodología.....	118

10.11 Conclusiones..... 120

**BIBLIOGRAFIA**

Referencias bibliográficas..... 125

## CAPITULO I

## 1.1 Introducción

*"El hombre se descubre cuando se mide con un obstáculo."*

*Antoine De Saint Exupéry*

La tesis consiste en Reducir el tiempo de preparación y ajuste del cambio de modelo en líneas de SMT utilizando metodología DMAIC y algo del SMED como parte de las necesidades de una ambiente de alta mezcla y bajo volumen.

El entorno global de alta competitividad en el sector de manufactura electrónica, es cada vez más demandante en cuanto a métodos de mejora de sus sistemas.

La alta competencia con Asia en la fabricación de ensamblés electrónicos, obliga a México a contrarrestar el costo de mano de obra asiática con mejores métodos y aplicación de técnicas de optimación en procesos. Es un hecho que el costo de labor en China es entre 3 y 4 veces más barato que en México y no podemos competir con eso, de ahí que la manufactura de ensamblés de alto volumen y productos de consumo involucre a Asia y particularmente a China como el centro de fabricación de éstos. Lo anterior obliga a concentrar en México la manufactura de productos de alta complejidad, con volúmenes bajos y alta mezcla o variedad de los mismos. A estas fechas es muy familiar ver a Asia manufacturar productos de consumo de alto volumen tales como computadoras, teléfonos celulares, medidores de glucosa y cada vez es más común ver en México fabricación de productos más complejos como radio bases para telefonía celular, ruteadores y switches para redes o servidores con alta capacidad de almacenamiento, involucrando complejos procesos de manufactura. Ante este contexto las líneas de producción cambian frecuentemente de herramental y de configuración; lo que es conocido como "la alta mezcla/bajo volumen", haciendo más que obligado un método que garantice la mínima pérdida de tiempo en este proceso de cambio.

A lo anterior se deben añadir métodos de control y de mejora dentro de todo el ciclo de manufactura que mantengan el proceso de cambio de modelo en la línea de producción en

tiempos mínimos. Con esto aseguramos mayor utilización de equipo, minimizamos tiempo muerto o ineficaz y al final de cuentas mayores beneficios para la compañía.

## **1.2 Justificación**

La importancia del presente trabajo está fundamentada en los siguientes aspectos:

- 1.- Elaborar un método que garantice un ágil y rápido cambio de modelo en líneas de montaje superficial para la producción de tarjetas de circuito impreso.
- 2.- Crear una estructura humana y de sistemas de control, mediante los cuales se mantenga bajo meta los tiempos de cambio de modelo y se vean el impacto de las mejoras implementadas.
- 3.- El impacto económico que se espera se basa en la reducción de tiempos muertos al aplicar la metodología.
- 4.- Lograr una optimización en la efectividad global de los equipos pertenecientes a la línea de producción.

## **1.3 Objetivos de la tesis**

Al Desarrollar una metodología DMAIC y algo del SMED para optimizar cambios de modelo en líneas de montaje superficial (SMT) para tarjetas de circuitos impresos obtenemos:

- 1.- La creación de un sistema que nos permite medir el impacto de los tiempos muertos por cambios de modelo.
- 2.- La aplicación de la metodología DMAIC de seis sigma.
- 3.- La creación de puntos de medición y control para cada subproceso de la línea de montaje superficial para ensambles de manufactura electrónica, que ayuden a mejorar los tiempos en el cambio de modelo.

## **1.4 Hipótesis**

Mediante la implementación de DMAIC + segunda fase del SMED en líneas SMT de producción de ensamblajes electrónicos, se lograrán reducciones significativas en los tiempos de ajuste y se eliminarán algunos tiempos muertos, se conseguirá un aumento en la productividad global del equipo y un ahorro en dinero para la compañía. También el considerar y dedicar todo el análisis de la tesis a ambientes de alta mezcla y bajo volumen de producción, se eliminarán cambios de modelo innecesarios.

## **1.5 Marco de referencia**

El presente trabajo abarca estudios experimentales y de campo, los cuales se llevarán a cabo en las instalaciones de la empresa Flextronics Manufacturing México, dedicada a la manufactura de productos electrónicos de exportación y localizada en la zona metropolitana de Guadalajara Jalisco.

## **1.6 Metodología**

Las fases en que se dividirá el presente trabajo son los utilizados por la metodología Seis Sigma:

Fase 1: Definición.

- 1.1.- Definición de alcance, recursos y actividades prioritarias.
- 1.2.- Selección del marco de referencia y línea de producción.

Fase 2: Medición.

- 2.1.- Elaboración de formatos de medición.

2.2.- Medición del estado actual.

Fase 3: Análisis.

3.1.- Proceso y subprocesos

3.2.- Uso de estadística descriptiva

Fase 4: Implementación de mejoras.

4.1.- Propuesta de Mejoras.

4.2.- Implementación de Mejoras.

Fase 5. Métodos de Control.

5.1.- Nuevos Métodos y Procedimientos.

5.2.- Métodos de control.

Fase 6. Reportes finales y conclusiones.

## **1.7 Recursos.**

Los recursos materiales serán proporcionados por la empresa Flextronics Manufacturing, entre ellos: instalaciones, equipos, computadoras, etc.

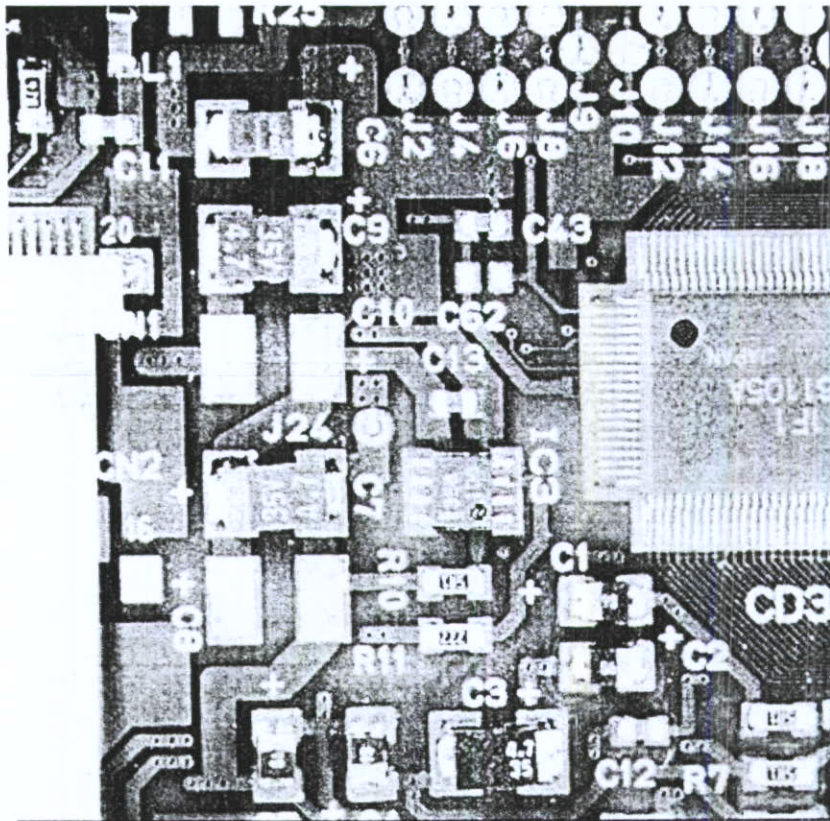
Los recursos humanos serán: Supervisores de Producción, Operadores de producción, Técnicos de Calidad, Técnicos de Proceso y de Mantenimiento, personal operario y técnico de dichas áreas y Titulares del Proyecto.

## **CAPITULO II ¿Qué es la tecnología de montaje superficial?**

## 2.1 Introducción

*"Todos somos muy ignorantes. Lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas."*  
Albert Einstein

La miniaturización de productos de la electrónica se ha acelerado gracias a dos factores. El primer factor es la mejora de integración e interconexión en los circuitos integrados, y el segundo, es la necesidad de diseñar productos más pequeños, más baratos y mejores. Esto ha conllevado a que emerja la Tecnología de Montaje de Superficie (SMT por sus siglas en inglés Surface Mount Technology) y a que contribuya de manera significativa en la miniaturización.



*Fig. 2.1 Acercamiento 10x a una tarjeta de circuito impreso con tecnología SMT*

Ahora bien, la automatización ha jugado un papel muy importante en la tecnología de montaje superficial, desde el montaje en sí, hasta automatizar el método de inserción de los

componentes con terminales a sus correspondientes agujeros y soldarlos en masa. Sin embargo, ha habido ciertas dificultades para lograr esta automatización.

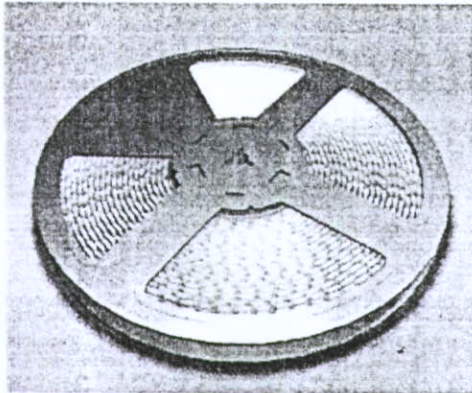
La Tecnología SMT tiene como fin hacer las interconexiones más confiables en las tarjetas de circuito impreso a grandes velocidades, en el área más pequeña, y al menor costo; aunque dichas facetas parezcan contradictorias. Para lograr tal fin, SMT estudia los siguientes tópicos de una manera simultánea:

1. Los nuevos tipos de componentes.
2. Las nuevas técnicas de montaje.
3. Las nuevas técnicas de ensamble.
4. Las nuevas técnicas de las pruebas.

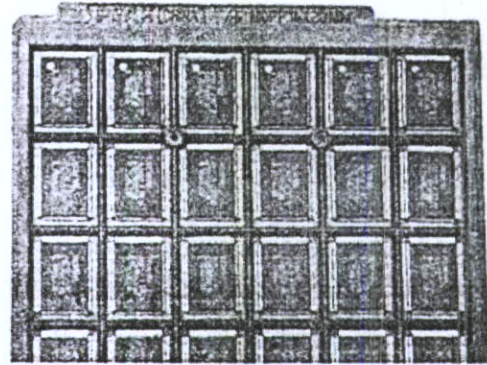
Cada una de las facetas anteriores en sí misma, es una tecnología y cuenta con estándares definidos y criterios de aceptabilidad en todos sus ámbitos.

## **2.2 Los nuevos tipos de componentes**

La mayoría de los componentes de Montaje de Superficie (SMD por siglas en inglés – Surface Mount Device) vienen en un tipo de empaquetado semejante a un rollo, mismo que hará fácil su montaje en la superficie del circuito impreso, sin tener que taladrar a través del mismo para la inserción. Otra forma de empaquetado utilizada especialmente para circuitos integrados son las denominadas “charolas”, que no es otra cosa que un contenedor rectangular matricial que almacena dichos componentes. La figura 2.2 muestra ejemplos de estos empaquetados.



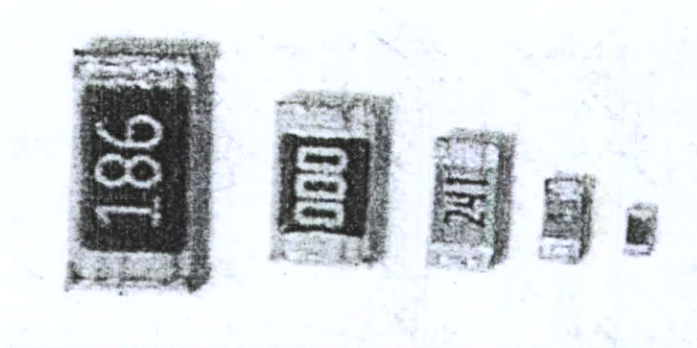
Material de SMT en rollo



Material de SMT en Charola

*Fig. 2.2 Empaquetado o presentación de componentes de SMT*

Los componentes pasivos tales como resistencias y capacitores se caracterizan por la ausencia de terminales, por su forma y tamaño. Los componentes pasivos de SMT tienen forma rectangular y los hay de varias medidas. La forma rectangular, comparada a la forma cilíndrica, es fácil para el manejo automatizado y los hace estables en la tarjeta. Vienen en tamaños diferentes que dependen de la capacidad de manejo de energía (watts), y se identifican por los números como 1206, 0805, 0603, 0402 etc. Estos números indican lo ancho y lo largo del dispositivo expresado en pulgadas. Por ejemplo 0810 significa 0.08" (ancho) x 0.10" largo. El cuerpo del propio pasivo es soldable en las terminaciones. Las Figuras 2.3 y 2.4 ilustran estos conceptos.



*Fig. 2.3 Resistencias de SMT de tamaño 1206, 0805, 0603, 0402, 0201. El número indica el valor de la resistencia en ohms*

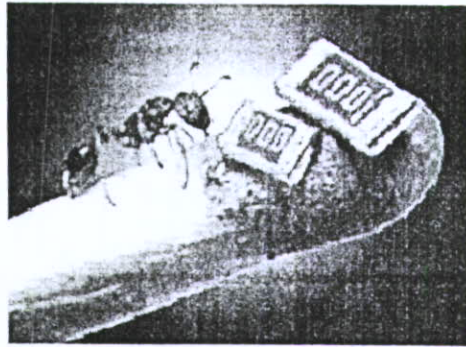


Fig. 2.4 Comparativo de componentes 0805, 0603, 0201 con un cerillo y una hormiga.

El caso de los componentes activos, los cuales son en general todos los circuitos integrados, tienen diferentes tipos de terminales de interconexión eléctrica: en forma de “J” y “ala de gaviota” son ilustrados en la figura 2.5

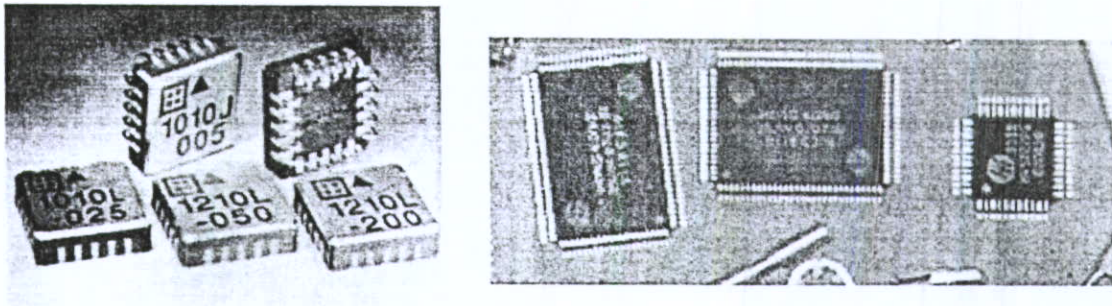


Fig. 2.5 Componentes tipo J (izquierda) y “ala de gaviota” (derecha).

Cada tipo de terminal tiene sus ventajas y desventajas. El tipo más utilizado es el de ala de gaviota, aunque las terminales ocupan más área son fáciles soldar e inspeccionar. Las tipo “J” ocupan un área menor, pero las uniones de soldadura son difíciles de inspeccionar y retrabajar.

Existe otro tipo de componente de tipo BGA (Ball Grids Array), los cuales poseen mejor interconexión, al ser conformados por un arreglo matricial de interconexiones, pero requieren un ensamble y soldadura más precisos (Fig. 2.6)

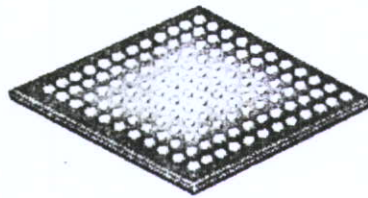


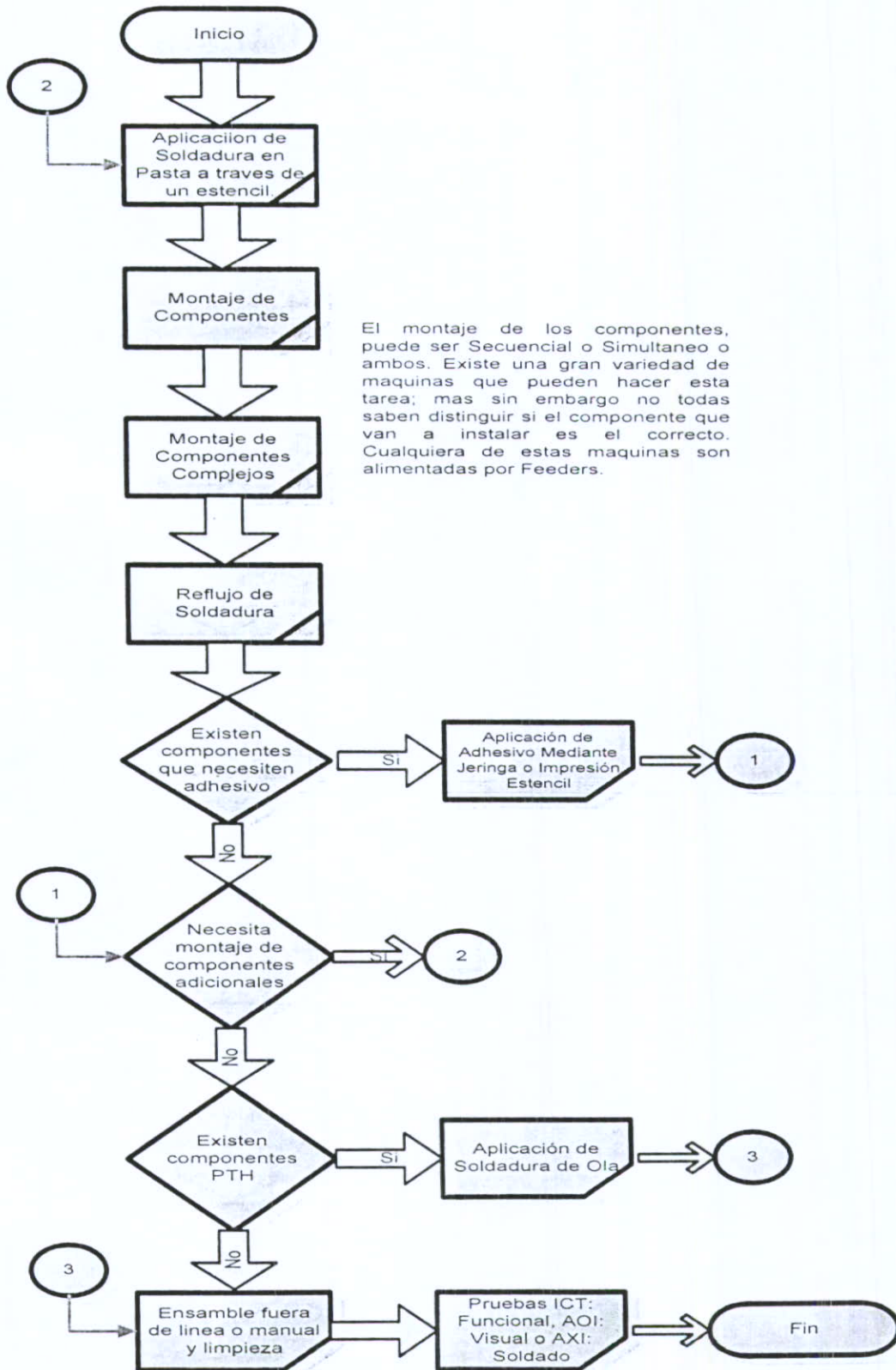
Fig. 2. Componente del tipo BGA

### 2.3 Nuevas técnicas de montaje

El montaje de los componentes a la tarjeta de circuito impreso tiene tres problemas básicos. El primero es asegurar la fuerza mecánica a la terminal del componente. La mayoría de los componentes ensamblados por SMT dependen de la propia fuerza de la unión de la soldadura. Sin embargo, cuando el tamaño de la terminal se reduce, la cantidad de soldadura también se reduce haciendo la unión más débil. En estos casos una fuerza mecánica adicional puede aplicarse mediante el uso de adhesivos. Este es también utilizado cuando los componentes de SMT están montados en ambos lados de la tarjeta y durante el proceso de soldado de ola.

### 2.4 Nuevas técnicas de ensamble

Típicamente, una línea de ensamble superficial para tarjetas de circuito impreso abarca los siguientes procesos. (ver Fig. 2.7)



El montaje de los componentes, puede ser Secuencial o Simultaneo o ambos. Existe una gran variedad de maquinas que pueden hacer esta tarea; mas sin embargo no todas saben distinguir si el componente que van a instalar es el correcto. Cualquiera de estas maquinas son alimentadas por Feeders.

Fig. 2.7 Procesos en una línea de SMT

Ahora bien, dependiendo de la complejidad del producto a ensamblar, muchos de los procesos antes mencionados pueden no ser aplicados. A continuación se mencionarán brevemente los puntos importantes de cada subproceso.

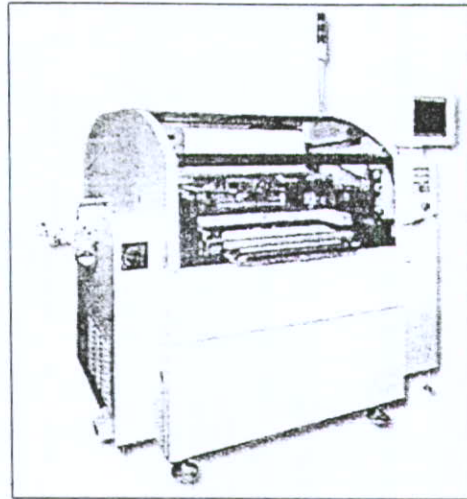
#### 2.4.1 Aplicación de soldadura

El método más común es el de impresión por estencil. El estencil es una lámina de latón o de acero con orificios donde se desea que la soldadura se aplique (ver Fig. 2.8). Los orificios son realizados mediante diferentes métodos: electroformado y corte por láser.



*Fig. 2.8 estencil para impresión de soldadura en pasta*

El estencil es colocado en una máquina dispensadora de soldadura, la cual a través de espátulas, aplicará la soldadura de manera uniforme. Las máquinas impresoras de soldadura en pasta han mejorado tanto su tecnología que incluso tienen sistemas de visión que validan la correcta impresión y aplicación de la misma. La Fig. 2.9 ilustra una máquina de impresión de soldadura en pasta



*Fig. 2.9 Impresora de soldadura en pasta*

#### **2.4.2 Aplicación de adhesivo**

Como se mencionó anteriormente la aplicación del adhesivo se debe a que muchas veces las nuevas técnicas de montaje requieren de una fuerza mecánica adicional que sujete a los componentes. Los adhesivos pueden aplicarse a través de varios procesos, pero los más utilizados son:

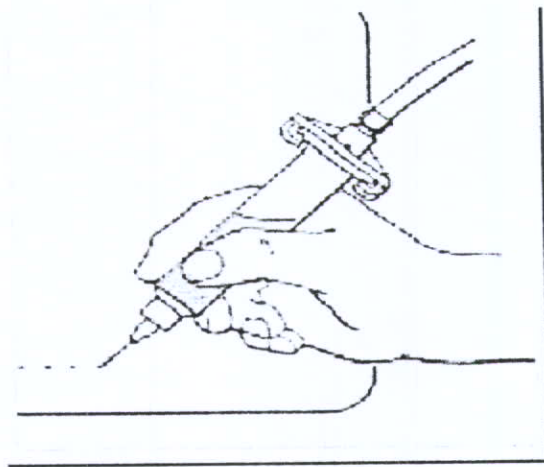
- Jeringa a presión
- Mediante impresión

Jeringa de presión: Es poner adhesivo y distribuirlo con una jeringa de presión, lo cual suena como el método más lógico. La jeringa puede usarse para o distribuir el adhesivo hacia el componente o más cómodamente hacia la tarjeta. La jeringa puede ser usada manualmente como es mostrado en la figura 2.10 o a través de un brazo controlado por computadora. La cantidad de adhesivo generalmente se controla a través del movimiento electromecánico del pistón de la jeringa.

El tamaño de la boquilla de la jeringa, la duración de ciclo, la presión atmosférica, la magnitud de la presión aplicada y la viscosidad del adhesivo determinan los tamaños del punto. Además es posible usar un cabezal de jeringas múltiples para aumentar la velocidad del proceso si es necesario

Impresión de adhesivo: Es esencialmente una pantalla (llamada comúnmente estencil) que imprime los puntos adhesivos en la tarjeta en áreas donde el adhesivo se requiere.

La mayor ventaja es que se distribuye el tamaño requerido y los puntos adhesivos en un solo golpe. La limitación es que la tarjeta tiene que ser plana, y por consiguiente, no puede usarse en las tablillas precargadas con componentes ya insertados.



*Fig. 2.10 Jeringa de presión usada manualmente*

Debe tenerse cuidado al aplicar el adhesivo, ya que las capas delgadas de muchos adhesivos comerciales son casi transparentes. Si una capa se extiende hacia una zona de soldadura se contaminará, por lo que su colocación necesita ser exacta. Ahora bien este adhesivo tendrá que calentarse en un proceso posterior para que su acción fijadora quede completa.

### 2.4.3 Métodos de colocación de componentes

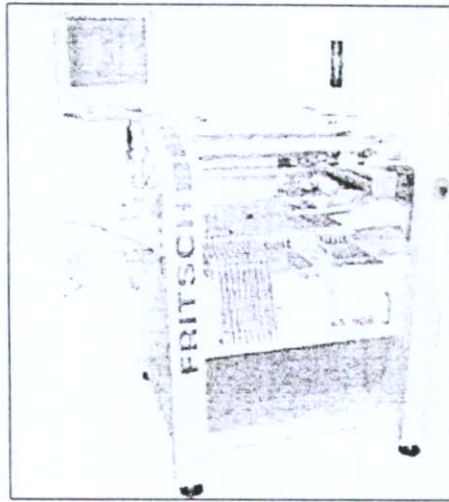
Después de distribuir la pasta de la soldadura, el componente deberá de ser puesto de manera exacta y delicadamente, la colocación del componente no debe perturbar la distribución de la pasta excesivamente en las áreas de colocación.

Los medios disponibles pueden ser clasificados como sigue:

- La colocación simultánea automática
- La colocación secuencial automática
- La colocación automática combinando el método simultáneo y método secuencial.

La colocación no es simplemente una acción repetitiva ya que requiere de inteligencia para escoger el componente correcto, rechazar el componente malo y reconocer la orientación para su suave colocación en las localidades que deben ser.

Hay una gran variedad de máquinas que pueden realizar el “tomar” y “colocar” (en inglés pick and place) componentes, unas muy simples y otras de funcionamientos muy complejos. Para reforzar la velocidad de colocación de componentes, las máquinas pueden contener más de un brazo o cabezal. La figura 2.11 muestra la fotografía de una máquina colocadora de componentes de SMT.



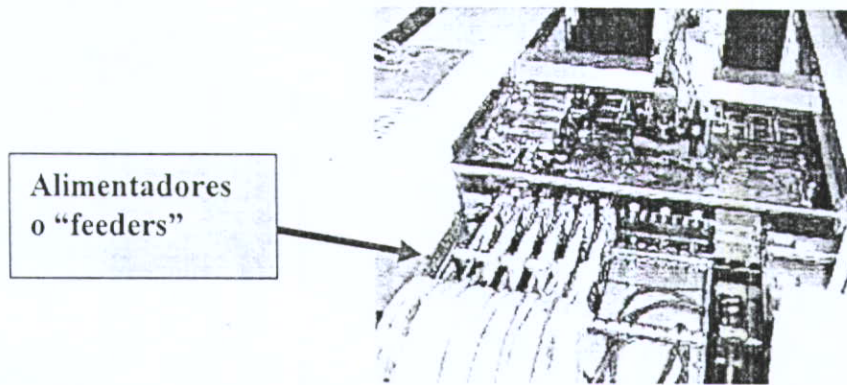
*Fig. 2.11 Máquina colocadora de componentes de SMT*

La automatización real, sin embargo, empieza con la colocación combinatoria entre simultánea - secuencial, los dispositivos de SMD son simultáneamente tomados de los módulos de alimentación por un cabezal que incluye boquillas y secuencialmente son colocadas en la tarjeta de circuito impreso. Cabe resaltar que entre más complejo sea el componente, la operación de tomado y colocado será más lenta, esto es debido a que se tiene que asegurar la precisión de la misma.

Los alimentadores (ver figura 2.12) de componentes juegan un papel muy importante en el rendimiento de las máquinas y en su correcto funcionamiento. El 90% del tiempo de ajuste de la máquina ocurre en el proceso de cambio de alimentadores debido a que un componente a colocar se ha agotado. Estas máquinas colocan cerca de 40,000 componentes por hora, por lo que es fácil imaginar lo frecuente y repetitivo que debe de ser este proceso de cambio de alimentadores.

Ahora bien, las máquinas modernas poseen un sistema de visión y reconocimiento de componentes, de tal manera que si el componente a colocar no cumple con valores de

medición y de forma predeterminados, los dispositivos se rechazan automáticamente y la colocación se repite. La máquina opera bajo coordenadas XY y se basa en un punto de referencia o punto de origen comúnmente conocido como *fiducial*.



*Fig. 2.12 Alimentadores de SMT*

#### **2.4.4. Proceso de soldado**

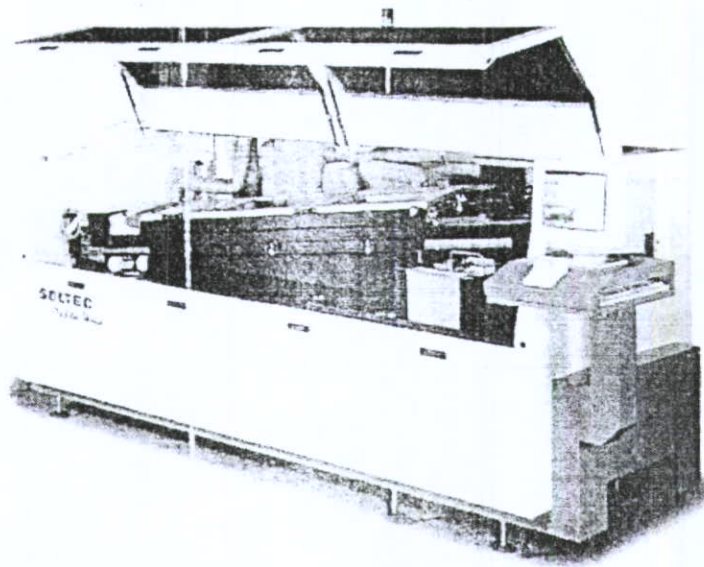
Los componentes de SMT no pueden soldarse productivamente a mano. Por ello se recurre al proceso de reflujo de la soldadura en pasta a través de hornos.

Métodos como la soldadura de ola (ver figura 2.13) son conocidos para soldar componentes de terminales que atraviesan toda la tarjeta de circuito impreso – componentes PTH (Pin Through Hole) por sus siglas en inglés.

Los equipos de soldadora de ola comunes actualmente cuentan con dos “olas”, la primera de ellas es más turbulenta y con mayor velocidad, la segunda es más suave y más laminar, lo que asegura la formación del filete de soldadura, remueve el exceso de la misma y previene la formación de cortos circuitos. Durante el inicio de este proceso se aplica un químico a la tarjeta llamado flux (comúnmente en forma de spray) que facilita la limpieza de algún contaminante y auxilia al proceso de soldado. Algunas tarjetas de circuito impreso son colocadas en manejadores personalizados comúnmente llamados “pallet”, los cuales contienen sujetadores especiales que auxiliarán a que los componentes a soldar no se muevan durante el proceso de soldado.

La tarjeta de circuito impreso requiere de un proceso de precalentado, debido a que se desean los siguientes resultados:

- La evaporación de solventes (provenientes del flux aplicado)
- Incremento de la viscosidad del flux
- Menor choque térmico
- Iniciación los activadores del flux
- Minimizar el daño al componente y a la tarjeta de circuito impreso (PCB por sus siglas en inglés).



*Fig. 2.13 Soldadora de Ola*

Existe también el proceso de reflujo de soldadura, en el cual no existe soldadura extra que se agrega como en el caso de soldadura de la ola. Solamente como su nombre lo indica, se refluje la soldadura en pasta que se encuentra en la tarjeta. Este proceso es algo más lento que el método de la ola.

Los factores importantes son la propia pasta de la soldadura, y el método para calentar la tarjeta uniformemente.

Los hornos de reflujo poseen zonas programables de precalentado, soldado y enfriado. Quienes determinan a qué temperatura deben de acoplarse y a qué tiempo, son los fabricantes de la soldadura en pasta, basándose en cierto perfil o patrón de temperatura a seguir.

## **2.5 Las nuevas técnicas de las pruebas**

El paso final del proceso de SMT es la inspección y prueba. Existen varios tipos de pruebas que sirven para detectar defectos ocurridos durante todo el proceso de SMT.

Algunos ejemplos de defectos típicos que podemos encontrar durante el proceso de montaje y horneado de componentes son:

- Cortos de soldadura.
- Insuficiencias de soldadura.
- Componentes incorrectos por alimentar mal la máquina.
- Ensamble incorrecto o colocación (manual o por inserción automática).
- Ausencia de componentes.
- Componentes fuera de especificación eléctrica.

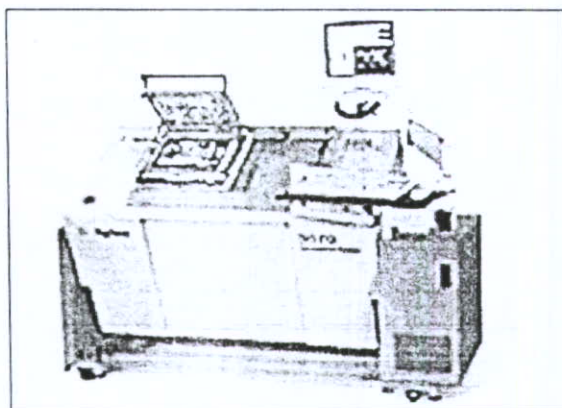
Existen diferentes máquinas dedicadas a inspeccionar el proceso de SMT y varían principalmente según sea el método de inspección que utilizan.

A continuación, se mencionarán y explicarán las características de las principales máquinas que existen el mercado para hacer inspección y prueba de todos los componentes instalados bajo la tecnología SMT.

Equipos de prueba “In Circuit”. (ICT). Estos dispositivos son los más utilizados para la inspección y prueba en una línea de SMT. Constan de una cabeza de prueba donde se monta

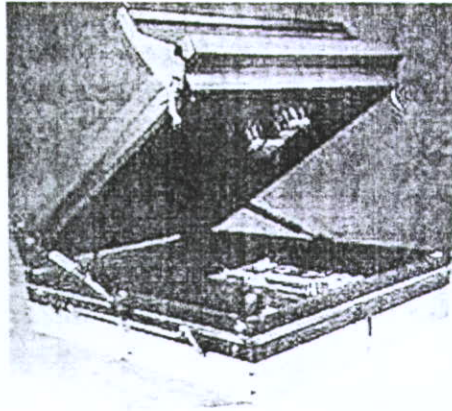
un herramental de prueba diseñado de manera exclusiva para probar el producto que se está ensamblando.

Una prueba de ICT normalmente es muy rápida (entre 20 y 90 segundos) y puede incluir programación de dispositivos tales como memorias o microprocesadores. La cobertura de prueba depende del acceso físico y eléctrico a medir en la tarjeta de circuito y en promedio esta cobertura de prueba es del 85% a 90% del total de los componentes montados. La figura 2.14 muestra un equipo ICT.



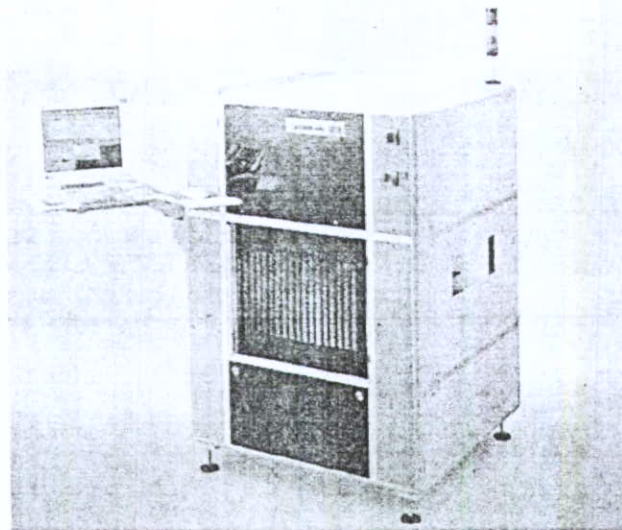
*Fig. 2.14. Equipo de prueba ICT con herramental o también llamado fixture montado en su cabeza de prueba*

Los accesorios, herramentales o fixtures utilizados, son físicamente una cama de clavos (pines) conductivos, que mediante vacío o aire comprimido, son forzados a hacer contacto en el producto a probar. Cabe mencionar que estos puntos de medición distribuidos a lo largo ancho de la tarjeta de circuito impreso fueron previamente diseñados y colocados para su respectiva prueba. Los fixtures de ICT por lo regular son costosos (alrededor de 10 a 20 mil dólares), son pesados y requieren de un almacenamiento cuidadoso, así como de un mantenimiento periódico. La Fig. 2.15 muestra una fotografía de un fixture de ICT.



*Fig. 2.15 Fixture o accesorio o herramienta de IC*

Equipos de inspección automática. (AOI figura 2.16). Los AOI (del inglés Automatic Optical Inspection) son equipos de inspección basados en sistemas de visión sofisticados tales como cámaras de alto enfoque con capacidad de reconocimiento de caracteres. Tienen limitaciones en componentes pequeños, pero no requieren de ningún tipo de fixture o accesorio para su operación pero en general son máquinas de un costo menor y de programación muy sencilla.



*Fig. 2.16 Máquina de Inspección automática (AOI)*

Equipos de rayos X automáticos (AXI). Cuando el nivel de inspección de soldadura es demasiado crítico, se recurre a dispositivos de rayos X que inspeccionan de manera laminar la calidad de la soldadura. Por lo regular ensambles de alto desempeño o delicados tales como dispositivos médicos o automotrices, son inspeccionados por este tipo de máquinas que, al igual que los AOI no requieren de ningún tipo de accesorio o fixture para trabajar. La desventaja de estos equipos es su costo pues puede llegar a los 700 mil dólares.

**CAPITULO III Creación de un ambiente y modelos de manufactura  
para bajo volumen y variedad de productos**

### 3.1 Introducción

*“Todo lo que nace proviene necesariamente de una causa; pues sin causa nada puede tener origen”*

*Platón*

El capítulo anterior nos muestra el proceso de SMT y la sofisticada maquinaria que es utilizada en una línea de SMT. El costo de una línea de producción es muy alto y mantener la línea ocupada produciendo es altamente prioritario. Indicadores financieros como el retorno de inversión o utilización de línea son monitoreados de manera constante en fábricas dedicadas a la manufactura de circuitos impresos.

Ahora bien, ¿qué tipo de productos de electrónica se fabrican ahora en México?

¿Por qué es necesario un sistema ágil de cambio de modelo en líneas de producción de SMT?

Si bien, el entorno global de alta competitividad en el sector de manufactura electrónica es cada vez más demandante en cuanto a métodos de mejora en sus sistemas. La alta competencia con Asia en la fabricación de ensamblajes electrónicos, obliga a México a contrarrestar el costo de mano de obra asiática con mejores métodos y aplicación de técnicas de optimización en procesos. Se comenta en el capítulo 2, que es un hecho que el costo de mano de obra en China es entre 3 y 4 veces más barato que en México y no se puede competir con eso. De ahí que la manufactura de ensamblajes de alto volumen y productos de consumo involucren a Asia, y particularmente a países cuyos costos de manufactura son bajos comparándolos con países americanos y europeos. China y Malasia caben perfectamente en esta descripción. Lo anterior obliga a concentrar en México la manufactura de productos de alta complejidad, con volúmenes bajos y alta mezcla o variedad de los mismos. A estas fechas es muy familiar ver a Asia manufacturar productos de consumo de alto volumen tales como computadoras, teléfonos celulares, medidores de glucosa y cada vez es más común ver en México fabricación de productos más complejos como radiobases para telefonía celular, equipo para redes de cómputo de alta velocidad o servidores con alta capacidad de almacenamiento, involucrando complejos procesos de manufactura.

Ante este contexto las líneas de producción cambian frecuentemente de herramental y de configuración; lo que es conocido como “la alta mezcla/bajo volumen”, haciendo más que obligado un método que garantice la mínima pérdida de tiempo en este proceso de cambio. A lo anterior se deben añadir métodos de control dentro de todo el proceso de manufactura que mantengan el proceso de cambio de modelo en la línea de producción en tiempos mínimos. Con lo anterior se asegura mayor utilización de equipo, minimizamos tiempo muerto o ineficaz y a final de cuentas mayores ganancias para la compañía.

Por tanto, es necesario crear un ambiente y un modelo de manufactura que tenga siempre en mente lo anterior, que agilice y dirija de manera adecuada la implementación de la producción de alta mezcla y bajo volumen. Debido a que en la época actual el consumidor no desea volumen; sino por el contrario desea flexibilidad, prefiere tener varios modelos a escoger, que unos cuantos en abundancia.

### **3.2 Familias de producto**

En una producción de variedad de productos (alta mezcla), cada combinación de productos semejantes entre sí se le conoce como familia de producto, y ésta puede ser producida mientras que no exceda su volumen total. Es decir, basta con revisar si las órdenes se pueden completar en su totalidad. Si se tiene modelos de sobra, significa que la combinación de producción o mezcla (mix) realizada no generó mucho valor, sino todo lo contrario. Tal vez hasta se trabajó tiempo extra, se expeditaron materiales, gastos de inventario, y todos aquellos desperdicios derivados por producir algo que no se necesita.

Es importante mencionar, que cuando se dice “semejantes entre sí”, se refiere tanto a los componentes que lo forman como al proceso por el cual deben de pasar; desde que llegan a la planta hasta que se embarcan (Ver Fig. 3.1).

Modelo \ Proceso	1	2	3	4	*	*
A	X	X			X	X
B		X				
C						
D		X	X	X		
E						
F		X				
G						
H			X			
*	X	X	X		X	X
*						
*		X		X	X	X

*Fig. 3.1 agrupación por modelos y procesos comunes*

Un modelo de alta mezcla debe tener como principal característica la rapidez de respuesta al cambio de la demanda, por lo tanto debe de ser flexible.

La clave en planear un modelo de alta mezcla, es seleccionar el producto adecuado de la familia, es decir, aquel producto que dé la mayor flexibilidad tanto para poder convertirlo en el más complejo o en el más sencillo de su familia; en otras palabras sería como el punto medio de cada familia. Esto se deberá hacer sin perder de vista la demanda de dicha familia y tratándola como si ella misma fuera un solo producto.

Para tratar a una familia como un solo producto lo primero que debe hacerse es ver si dichos productos de la “familia” realmente hacen una familia. Es decir, deben de ser los más semejantes entre sí de toda la gama de productos que maneja la empresa.

Un porcentaje que se sugerimos para mover el producto de una familia a otra, es si su variación tanto en componentes como en proceso es mayor a un 30%.

Una vez sabiendo que se tiene realmente bien hechas las familias de productos, es necesario saber el *takt time*, el cual no es otra cosa más que el número de productos que se deben terminar día a día para satisfacer nuestra demanda del mercado. Una vez identificado y establecido el *takt time*, se necesita determinar si las máquinas usadas en la planta pueden soportar dicho *takt time* para la mezcla de producto o familias.

De no ser así, se debe conocer cuánto se necesita invertir ya sea en nuevas máquinas, en tiempo extra, recursos, y demás.

MODELO	Unidades por hora	Cuello de Botella	Notas/Comentarios
A	10	Proceso 1	
B	18	Proceso 4	
C	*	*	
D	*	*	X
E	*	*	
F	*	*	
G	*	*	
H	*	*	
*	*	*	
*	*	*	
*	*	*	X

Fig. 3.2 EL *takt time* y el cuello de botella siempre deben de tenerse a la mano.

Ahora bien según el número de familias y *takt time* formulemos la siguiente pregunta... ¿Cada cuánto tiempo es recomendable hacer un cambio de familia o productos...? ¿Una vez a la semana?, ¿Una vez al día...?

Es lógico que entre mayor sea el intervalo de tiempo, menos cambios serán necesarios al día y en consecuencia, menor será el tiempo invertido en cada familia de producto. Por ende, será menor el tiempo de preparación, de cambio de producto, el ocio de las máquinas, el

tiempo extra, etc. El punto es, hacer el mínimo cambio de familias en el día o a la semana según como sea la demanda o takt time de los productos de la empresa.

Por lo tanto, el intervalo es la clave en el concepto de una producción mixta. Éste indica qué tan largo será el ciclo de la siguiente familia a producir. Hasta aquí pareciera que la solución a esto es que los intervalos fueran grandes y listo; pero desgraciadamente como previamente se había mencionado, hoy en día no se quiere una producción en alto volumen y de pocos productos.

Así que, tener intervalos pequeños de tiempo al día, permite esa flexibilidad requerida por los clientes y por otro lado hacer lo que ellos quieren y no lo que se considera económico o lo más conveniente.

Debido a que se necesita tener dicha flexibilidad y obviamente se debe de manejar intervalos de tiempo pequeños, que el tiempo de cambio de un producto a otro sea el menor posible y así reducir el tiempo muerto cualquiera que fuese su causa.

Cuando se habla de balanceo de líneas con una gran variedad de productos mezclados, se necesita esforzarnos para que todos los productos corran al mismo tiempo de ciclo marcado por la demanda. Se sabe que esto algunas veces no es posible debido a la variabilidad del proceso; pero aún así, se debe de balancear el mayor número posible de estaciones de trabajo al takt time.

En un trabajo donde existe tanta mezcla de productos no se debe de perder de vista ningún detalle y estandarizar el trabajo lo más que se pueda. Se sabe que lo anterior es difícil pues existe resistencia al cambio y ello implica un cambio de cultura. Sin embargo, al arreglar esos “pequeños” detalles se logra una mejora y una significativa reducción del tiempo de ocio en la línea de producción.

A pesar de que el objetivo es hacer cualquier tipo de mezcla de productos, se sabe que existen máquinas con diferentes tiempos de ciclo. Además, es probable contar con máquinas de tamaño significativo que ocupan mucho espacio en la planta, complicando de cierta manera el flujo de producto o limitándonos a asignar espacio predefinido por el tipo de suministro que necesitan estas complejas máquinas.

Cuando se trabaja productos de alta mezcla a través de un mismo proceso o línea de procesos, se logra fabricar lo que el cliente quiere cada día. Sin embargo, esto a veces puede ocasionar problemas de calidad, retrabajos, retrasos y tiempo extra por querer embarcar cada día lo que el cliente desee. Para evitar esto, pueden ayudarnos los siguientes 5 pasos:

- 1) Identificar los componentes comunes.
- 2) Determinar cuál parte del proceso no puede cumplir con el takt time calculado.
- 3) Calcular el tiempo de ciclo necesario para terminar el proceso completo para esta parte
- 4) Determinar la cantidad que hay que obtener del mercado o el tiempo extra para satisfacer lo que el cliente quiere.
- 5) Si la demanda es baja en otros productos, determinar cuántos productos se pueden fabricar para satisfacer otro segmento de mercado, o retirarlos o sustituirlos.

Aunque el objetivo sea la habilidad de mezclar los productos en familia a través de la línea de producción, se debe asegurar que dicha mezcla sea óptima. Ya que algunas máquinas tienen un tiempo de ciclo mayor que otras, un alto volumen de productos pasando a través de estas máquinas puede impedir que los demás productos que son necesarios de embarcar, no lo hagan. Dadas estas condiciones, es necesario hacer un buen análisis de mezcla y lógica acompañada tanto de un simulador como de un diagrama de flujo. Dicho análisis debe decir qué productos hacer, en qué intervalo, cuáles son las limitantes y combinaciones óptimas.

Es muy difícil tener un pronóstico de ventas exacto y más aún si sólo se toman las ventas como variables significativas. De todos modos, toda compañía busca poder anticiparse al lo que el cliente pueda pedir y crea un inventario ya sea en su propia planta o en el mercado.

Ambos son costosos, siendo lo más económico tener inventario en una tienda o en el mercado; sin embargo éste deberá ser muy dinámico y tratar de acaparar al cliente potencial.

## CAPITULO IV Las 5 S

## 4.1 Introducción

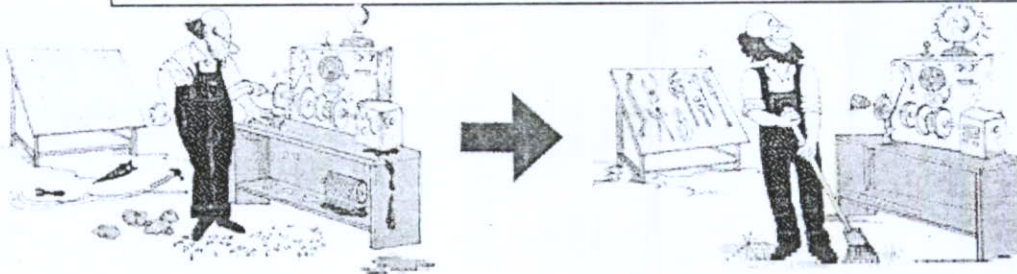
*"Juzguemos al árbol por sus frutos y no nos enredemos con sus raíces. "*

*Igor Stravinski*

Las 5 S es una metodología utilizada comúnmente durante la implantación de sistemas de calidad total con el propósito de lograr una participación de todos los grupos de trabajo de la empresa. Constituyen una vía muy efectiva para mejorar la productividad de las operaciones diarias, y desarrollar un ambiente de trabajo agradable.<sup>1</sup>

El método recibe este nombre, debido a que los conceptos originales en idioma japonés principian todos con la letra "s" (ver figura 4.1 la cual explica cada concepto):

Japonés	Español
1.- <i>SEIRI</i>	Ordenar
2.- <i>SEITON</i>	Organizar
3.- <i>SEISO</i>	Limpiar
4.- <i>SEIKETSU</i>	Reglamentar
5.- <i>SHITSUKE</i>	Mantener

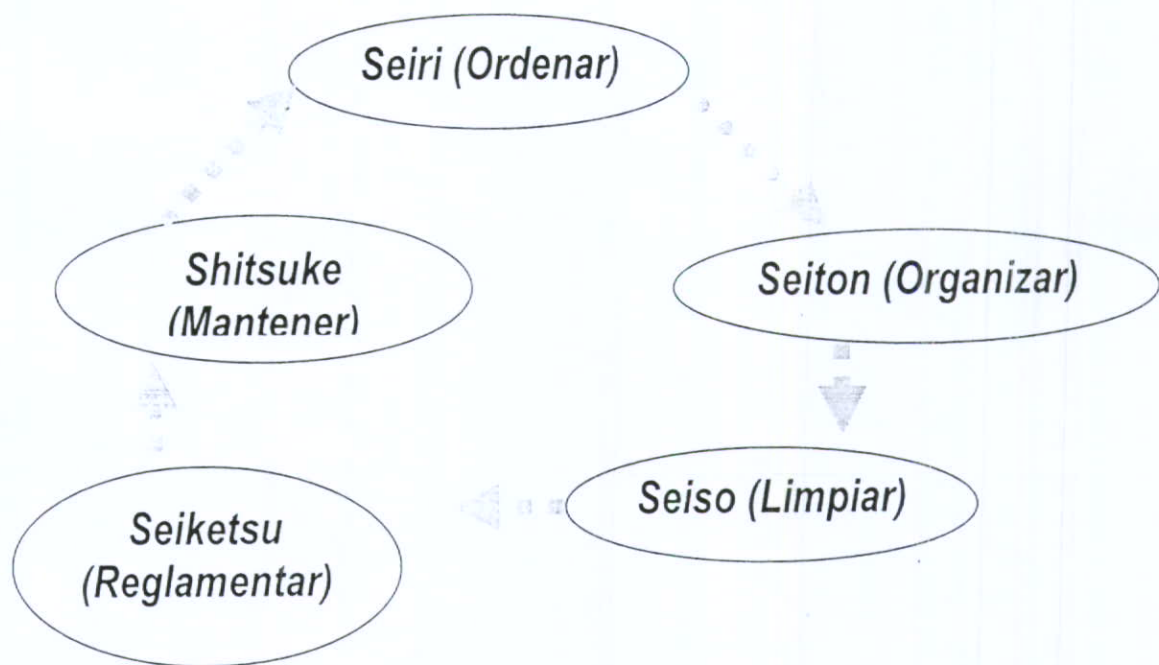


*Figura 4.1 Significado de las 5 S*

1. Desarrollo de una Cultura de Calidad, Humberto Cantú Delgado

## 4.2 Esquema para la acción con 5 S

Como se puede observar se inicia con el etapa de Seiri u ordenar, luego Sieton u organizar y así sucesivamente. Es importante notar en la figura 4.2 que es un ciclo y por lo tanto nunca se termina, ya que siempre habrá algo que ordenar, organizar, limpiar, reglamentar y mantener.



*Figura 4.2 Ciclo de las 5 S*

## 4.3 Pasos de las 5 S

**Primer S Seiri:** Identificar, separar y eliminar objetos y materiales innecesarios. Puede ayudar si se marca con una etiqueta roja, o bien, algo que indique que ese objeto será movido de su lugar actual por falta de uso frecuente.

Su beneficio: Eliminar artículos obsoletos o en exceso y así aprovechar el espacio físico.

Su lema: Mantener sólo lo necesario, si ya no se necesita habrá que moverlo.

Sus pasos a seguir son:

- 1.- Listado de Objetos.
- 2.- Indicar los innecesarios.
- 3.- Indicar frecuencia de uso.

**Segunda S Seiton:** Acomodar objetos en orden, se recomienda utilizar algún principio lógico. Definir un lugar para cada objeto y mantenerlo siempre ahí. Es importante que si son varios usuarios los que usan algún objeto, éste se mantenga siempre al alcance de todos.

Su beneficio: Eliminar tiempo de búsqueda de los objetos y con ello aumentar la velocidad de repuesta. Prever el desabasto de las cosas ya que se tiene que visualizar de manera sencilla cuando el objeto no está donde debe de estar.

Su lema: Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar.

Sus pasos a seguir son:

- 1.- Decidir qué lugar es el más conveniente para cada cosa necesaria.
- 2.- Acomodar cada cosa en su lugar.
- 3.- Definir una metodología de marcado (identificación de objetos).
- 4.- Aplicar la metodología de marcado (identificación de objetos).

Según el número de veces o frecuencia con que se utilicen las cosas en determinado tiempo, será el lugar en el cual éstas deben de ser acomodadas. Para ello es útil la figura 4.3.

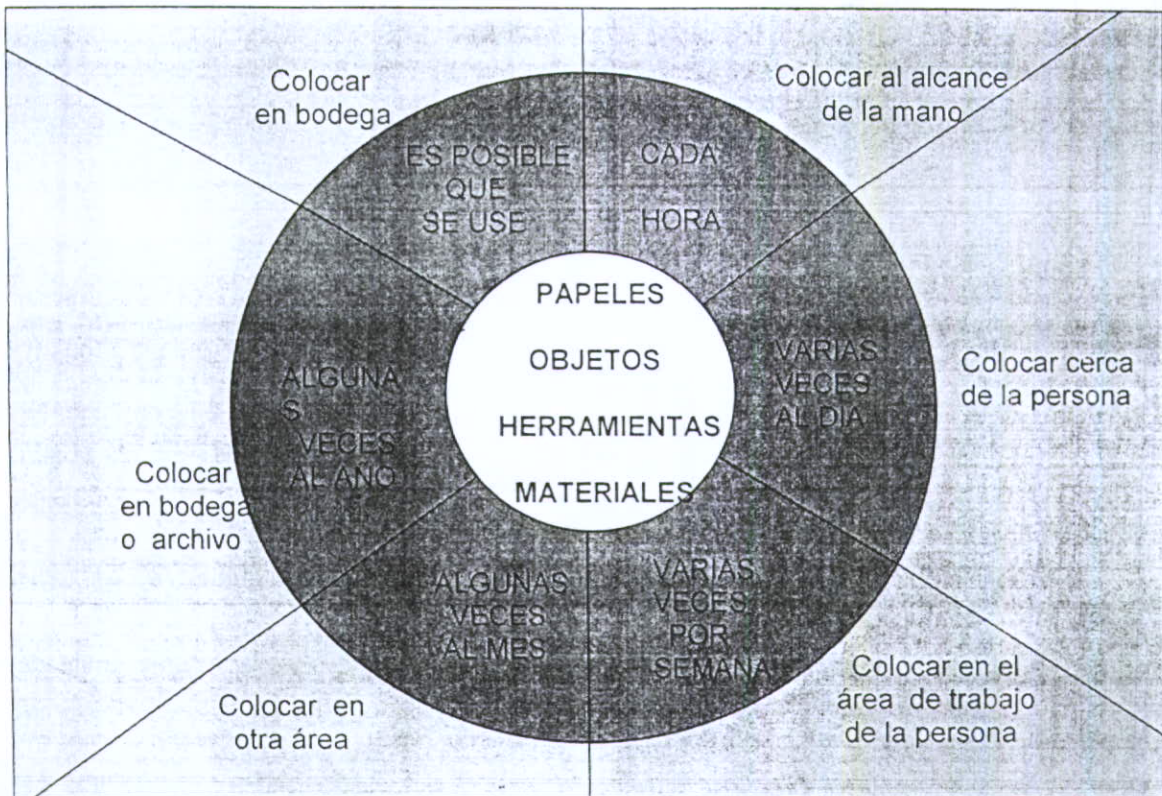


Fig. 4.3 Identificación de Materiales para su ordenamiento. (Curso interno para los empleados en SSCI planta 476)

**Tercer S Seiso:** Tener limpio y en buen funcionamiento nuestro lugar de trabajo y los objetos o maquinaria. Cada persona deberá ser responsable de un área específica.

Su beneficio: Eliminar pérdida de tiempo por no encontrar las cosas listas para usarse o sucios, además el hecho de que esté limpia cada área de trabajo hace un ambiente de trabajo agradable.

Su lema: Si necesitas el objeto, y sabes en dónde está, tenlo siempre limpio y listo para usarse.

Sus pasos:

- 1.- Dividir el área de trabajo y las áreas comunes.
- 2.- Definir frecuencia y actividades de limpieza a realizar en cada área.
- 3.- Asignar responsable de cada área.
- 4.- Calendarizar.
- 5.- Revisión y firma del formato.
- 6.- Pegarlo en un área visible para todos.
- 7.- Realizar las actividades indicadas.

**Cuarta S Seiketsu:** Garantizar la simplicidad en los objetos, su orden y limpieza. En otras palabras, garantizar las primeras 3 S.

Su beneficio: Se hacen oficiales los sistemas de implementación de 5 S. Y se asegura de como siempre continuar en un ambiente de 5 S.

Su lema: Ya se tiene un nuevo juego, ahora se define sus reglas.

Sus Pasos:

- 1.- Designar un equipo permanente de auditores por áreas.
- 2.- Nombrar coordinador de auditorías permanentes.
- 3.- Calendarizar auditorías.
- 4.- Realizar las auditorías.

**Quinta S Shitsuke:** Tener el hábito de cumplir con el procedimiento ya definido para el orden, organización y limpieza de la áreas de trabajo.

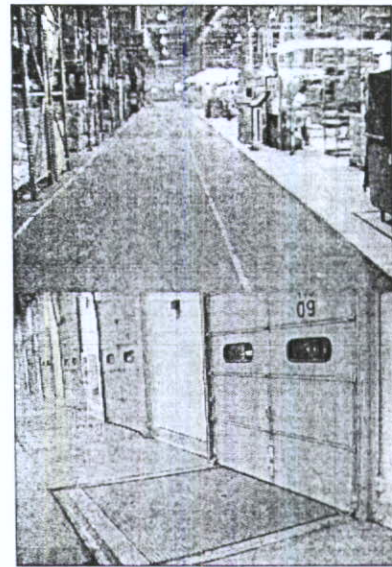
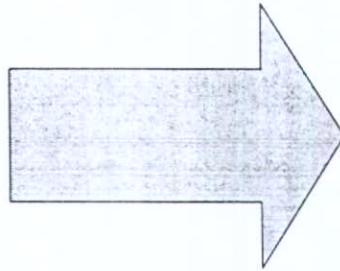
Su beneficio: Certeza de que las cosas ocurrirán como están planeadas.

Su lema: Ya lo lograste, ahora manténlo.

Sus Pasos:

- 1.- Auditorías.
- 2.- Comunicación.
- 3.- Capacitación.
- 4.- Reiniciar con la primer S.

## Resultados



*Fig. 4.4 Ejemplo de los resultados de la aplicación de las 5 S. del lado izquierdo se puede apreciar cómo se ve una empresa antes de aplicar la metodología de 5 S. Después de aplicarla, los resultados son tan palpables que basta con observar las fotos del lado derecho para darnos cuenta de la mejoría.*

## **CAPITULO V Metodología seis sigma**

## 5.1 Introducción.

*"Conocimiento es Poder"*

*Francis Bacon*

Seis Sigma es un concepto estadístico que mide un proceso en términos de defectos. Alcanzar el nivel Seis Sigma significa que el proceso es capaz de entregar sólo 3.4 defectos por cada millón de oportunidades (3.4 DPMO).

La letra griega Sigma  $\sigma$ , es utilizada en estadística como representación de la desviación estándar, la cual indica la variación de un determinado proceso o muestra, y ayuda a entender qué tan alejado se encuentra el mismo de la perfección o no variabilidad.

Nivel de 1 Sigma representa 691462.5 defectos por millón de oportunidades el cual traducido a porcentaje de unidades no defectuosas representa sólo el 30.854%, lo cual es obviamente un proceso demasiado pobre en rendimiento. Si se tiene un proceso funcionando a niveles 3 Sigma significaría que esta permitiendo 66807.2 errores por millón de oportunidades, equivalentes a entregas de 93.319% de unidades no defectuosas.

$\sigma$	PPM
2	308,537
3	66,807
4	6,210
5	233
6	3.4

Capacidad De Proceso      DPMOS

*La Figura 5.1 muestra los niveles sigma y su respectivo rendimiento en términos de partes por millón.*

Hablando en un contexto histórico, Seis Sigma fue conceptualizado como un objetivo o meta de calidad a mediados de 1980 por Motorola, debido a que la tecnología fue evolucionando en grado de complejidad, de tal manera que las ideas tradicionales acerca de los niveles aceptables de calidad eran inadecuadas.

En 1989 Motorola lanzó una meta corporativa a 5 años, de alcanzar un nivel defectivo no mayor a 3.4 defectos por millón. No solo Motorola sino también otros corporativos de presencia mundial como Ford, General Electric, IBM por mencionar algunos, han reducido costos por billones de dólares, de tal manera que Seis Sigma se podría considerar como “parte del código genético del liderazgo del futuro”<sup>2</sup>

## **5.2 Lo que no es Seis Sigma.**

Un importante punto a enfatizar es que Seis Sigma no es otro programa de calidad. Los negocios existen por un solo propósito, que es el ser rentables y generar ganancias y Seis Sigma utiliza los recursos ya existentes para solucionar problemas crónicos.

Seis Sigma no es una teoría. Es una práctica de descubrir varios procesos vitales que impactan de manera significativa. Define, mide, analiza, mejora y controla dichos procesos y los entrelaza a la mejora de calidad y por consiguiente los entrelaza de manera directa al estado de pérdidas y ganancias de la compañía<sup>3</sup>. Seis Sigma no es un programa de entrenamiento, aunque el personal debe tener un entrenamiento en la metodología para asegurar la correcta implementación. Desde los operarios de producción hasta las gerencias, el entrenamiento debe de estar presente para instaurar el método, facilitar la transformación y obtener resultados financieros atacando los vicios crónicos con herramientas estadísticas ampliamente probadas.

2. Jack Welch, CEO de General Electric,

3. Grez Brue, Six Sigma for Managers 2002

Seis Sigma no es una metodología que sólo funciona en ambientes de manufactura, al enlazar gente con los procesos y sus salidas se obtienen resultados sin importar la industria, negocio o servicio.

### 5.3 Elementos clave.

Debido a que Seis Sigma utiliza terminología estadística, frecuentemente es percibida como una metodología netamente de medición y no es así. Envuelve además de ello, cambios culturales para soportar el despliegue de la metodología y determina una serie de roles y responsabilidades en algunas personas, de conceptos y técnicas que se mencionarán a continuación.

*Champion.* Es un gerente que promueve la metodología en la compañía y en especial en grupos funcionales. El Champion entiende la disciplina, las herramientas, selecciona los proyectos y establece objetivos medibles. Sirve como mentor y elimina barreras y dedica recursos para dar soporte a los *Black Belts*. El Champion monitorea los proyectos y mide los ahorros realizados.

*Master Black Belt.* Es un experto en las tácticas y herramientas Seis Sigma y un recurso valioso en términos de experiencia y técnicas estadísticas. Es un mentor y facilitador y un maestro para el Black belt, lo asesora y lo conduce.

*Black Belt.* Una persona de tiempo completo y 100% dedicada al proyecto. Es entrenada en la metodología y con completo dominio de las herramientas estadísticas. Trabaja en conjunto con otros miembros (uno de ellos son los *Green Belts*) para poner en marcha las mejoras propuestas a los procesos y son los responsables de la obtención de resultados.

*Green Belt.* Asisten a los Black Belts en el área funcional que dominan. Trabajan a tiempo parcial y aplican la metodología y herramienta para solucionar problemas dentro de su

área a manera parcial. Son las “abejas obreras” que trabajan de manera ardua para lograr los verdaderos resultados a corto plazo.

*CTQ (Critical to Quality -Crítico para la calidad).* Este concepto en Seis Sigma ayuda a entender y enfocarse en mejorar la calidad desde la perspectiva del cliente.

Gerentes y empleados entienden de la calidad en los productos y servicios que manejan, pero encontrar cuales de esos productos y servicios son vitales (y en que forma) para el cliente ayuda a establecer estándares de entrega de la calidad que realmente importa al cliente final.

*Mapeos de proceso.* Es una visualización gráfica de los subprocesos que conforman un proceso con entradas y salidas las cuales a final de cuentas determinan el flujo total del mismo. Un mapeo de proceso es una descripción ilustrada de cómo trabaja un proceso.

*Diagramas de Pareto.* Es una representación gráfica de las causas o defectos fue usado por vez primera por el economista italiano Vilfredo Pareto. Presentó un análisis de la repartición de la riqueza en la sociedad que establecía una relación 80% a 20%. Tiempo más tarde, Juran aportó que se debe de concentrar en localizar el 20% de la causa raíz que produce un efecto de 80% en los resultados. Lo anterior fue un comentario que nos hizo nuestro asesor y maestro Javier Massini.

#### **5.4 La magia del DMAIC**

El acrónimo DMAIC representa las 5 fases en la metodología Seis Sigma.:

- Definir (del inglés - Define).
- Medir (del inglés - Measure).
- Analizar (del inglés – Analyze).
- Mejorar (del inglés –Improve).

- Controlar (del inglés –Control).

DMAIC envuelve pasos necesarios a efectuarse en secuencia, cada uno de los cuales es esencial para obtener los resultados esperados. No se puede alterar el orden, saltar o eliminar alguna de estas fases y esperar resultados fidedignos o con sentido. Por ejemplo no se puede comenzar con la fase de control y luego medir y analizar resultados.

*Fase de Definición.* El propósito de esta fase es definir claramente el problema, entender el alcance del proyecto y establecer las metas y criterios para alcanzar dicha meta, de manera breve, la fase de definición engloba:

1. Identificar los problemas importantes en el proceso.
2. Seleccionar el proyecto y/o problema a combatir y definir los parámetros del mismo.
3. Determinar los factores a medir, analizar, mejorar y controlar.

Cada fase contiene elementos a entregar y la fase de definición puede incluir todos o algunos de los siguientes elementos:

1. Formatos de avance del proyecto.
2. Gráfica del comportamiento del métrico.
3. Mapeos de proceso.
4. Diagramas de Pareto.
5. Planes de mejora, siguientes pasos.
6. Revisión local (con el equipo de trabajo).

*Fase de Medición.* Esta fase incluye determinar:

1. Cuáles son los elementos CTQ que influyen en el producto o proceso.
2. Validar o generar los sistemas de medición para los elementos CTQ.
3. Determinar y cuantificar el rendimiento.

Los elementos a entregar en la fase de medición son:

1. Formatos de avance del proyecto.
2. Gráfica de comportamiento del métrico.
3. Mapeos de proceso.
4. Diagramas de Pareto.
5. Herramientas de medición.
6. Planes de mejora, siguientes pasos.
7. Revisión local (con el equipo de trabajo).

*Fase de Análisis.* En este punto se trata de encontrar los “por qué” de los defectos y su generación. En general comprende:

1. Definir los objetivos de mejora para el CTQ “A”.
2. Identificar las fuentes de variación en “A”.
3. Buscar las causas potenciales para el cambio de “A”.

Los elementos a entregar son:

1. Formatos de avance del proyecto.
2. Gráfica de comportamiento del métrico.
3. Uso de herramientas de medición según se requiera (Paretos, GR&R etc.)
4. Solución (causa raíz).
5. Cuantificación de planes de mejora, siguientes pasos.
6. Revisión local (con el equipo de trabajo).

Una vez completado lo anterior se tiene la información crítica que indica cuáles factores y qué tanto afectan además de las siguientes acciones orientadas a tener un impacto positivo (con la certeza de su efecto) en la solución del problema.

*Fase de Mejora.* Una vez medida (s) y analizada (s) la (s) situación(es) se llega al punto de probar nuestras teorías que solucionarán nuestros problemas. En general, esta fase consta de:

1. Descubrir la relación entre las variables y su efecto en el proceso.
2. Establecer tolerancias operativas para las variables.
3. Validar todos los sistemas de medición para las variables.

Los elementos a entregar son:

1. Formatos de avance del proyecto.
2. Gráfica de comportamiento del métrico.
3. Uso de herramientas de medición según se requiera (Paretos, GR&R etc.).
4. Solución (acciones de contención).
5. Cuantificación de planes de mejora, siguientes pasos.
6. Revisión local (con el equipo de trabajo).

*Fase de Control.* En esta fase se trata de mantener los cambios que se hicieron para sostener las mejoras. Aquí se documentan y monitorean los procesos y sus respectivos métricos. Puede darse el caso que la fase de control jamás exista si se elimina el problema entero y por completo.

Los elementos a entregar son:

1. Formatos de avance del proyecto.
2. Gráfica de comportamiento del métrico.

3. Planes, procedimientos de control y validación.
4. Resultados en términos de ahorro en costo.
5. Lecciones aprendidas.
6. Reporte final.

La magia del método DMAIC consiste en que elimina completamente paradigmas de mentalidad del tipo “Yo creo...”, “Yo siento...”, “Yo pienso que...”. DMAIC confía y descansa en hechos medibles y cuantificables para eliminar desperdicios e ineficiencias: “Yo creo y confío en Dios .....los demás que traigan datos” \*

\* Mario Aguilar, durante los trabajos de investigación de ésta tesis.

## **CAPITULO VI Estudios GR&R**

## 6.1 ¿Por qué GR&R?

*“Desvíate un centímetro y perderás un millar de kilómetros”*

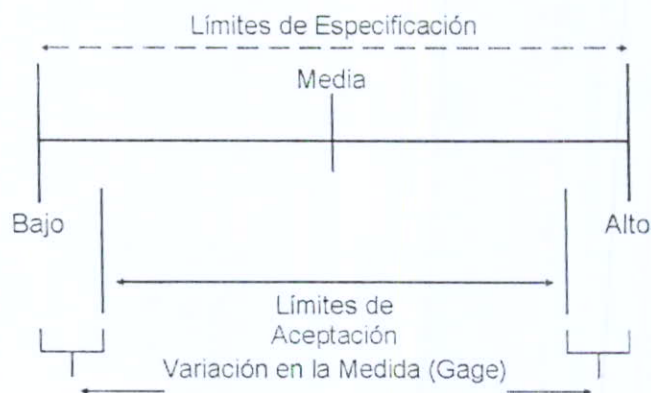
*Proverbio Chino*

El GR&R (del inglés -gauge of repeatability and reproducibility) es un estudio que tiene como meta asegurar que un sistema de medición es estadísticamente confiable para su propósito.

En general el estudio GR&R ayuda para:

1. Asegurar el cumplimiento de especificación de producto, considerando la variación en la medición a realizar.
2. Apretar o Ajustar herramental, evitando "juegos" o malas posiciones del mismo después de responder a las variaciones de la medición a efectuar.
3. Determinar qué por ciento (%) de nuestra especificación del producto está siendo influenciado por la medición.

Para entender más la variación de la medición (Gauge), se puede observar la figura 6.1



*Fig. 6.1 Límites de especificación (generalmente los establece el cliente), y de aceptación (establecidos por la empresa, para asegurar aún más la calidad hacia el cliente).*

## 6.2 ¿Cómo surge y en dónde utilizar GR&R?

El estudio GR&R estudia el resultado de la proporción numérica de la variación de la medición y la especificación del producto, siendo esta última la más crítica, ya que de ella se deriva todo.

Es sabido, que toda empresa es influida por 5 puntos durante la elaboración de su producto: Materia prima, mano de obra, maquinaria, métodos y medio ambiente adecuados para el producto (véase figura 6.2) Como todas las anteriores palabras comienzan con la letra “M”, el anterior concepto se le conoce como influencia de las cinco “emes”. De las cinco emes que influyen en el funcionamiento de una empresa se desprende un sin fin de variaciones en el proceso de producción. GR&R se enfoca a aquella variación ocasionada por la Mano de Obra (operador) llamada *reproducibilidad* y por la Maquinaria (Equipo), llamada *repetibilidad*.

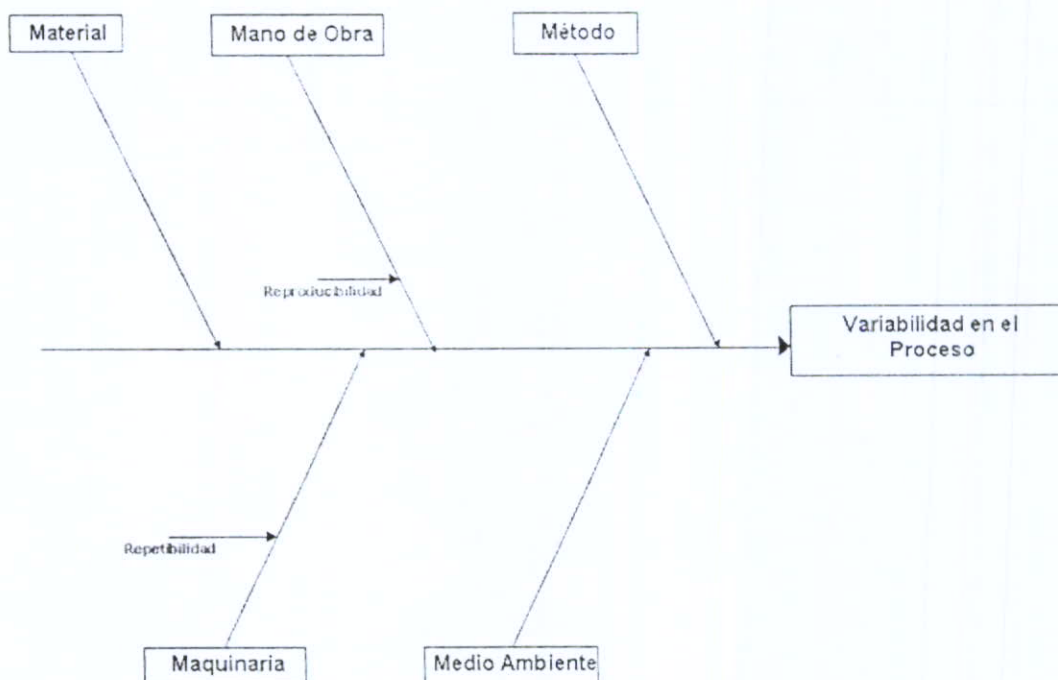


Fig. 6.2 Variables y variaciones dentro de un Proceso.

Dado lo anterior ahora sabemos de dónde viene GR&R: Gauge indica la variación de la media, y las letras R hacen referencia a la reproducibilidad y repetibilidad. Por lo que la suma de la variación de reproducibilidad y repetibilidad nos da el GR&R total.

La variación de repetibilidad, es también conocida como la variación del equipo. Nos da el porcentaje de la especificación del producto influenciado por el nivel de precisión del funcionamiento del equipo, es decir, mide la consistencia en las lecturas de las mediciones de uno o más artículos pero con una misma persona.

Por otro lado, a la variación de reproducibilidad, se le conoce como la variación del operador. Ésta indica el porcentaje de la especificación del producto influenciado por la variación en la técnica del operario, en otras palabras, nos muestra la consistencia en las lecturas de las mediciones de un mismo artículo pero con más de una persona.

### **6.3 Variación del sistema o proceso y sus elementos**

Un sistema de medición, deberá ser desarrollado o diseñado para calificar las características físicas del herramental a partir de una muestra. Claro, como todo control, está obligado a permitir cierta tolerancia, es decir un rango de aceptación en la variación del total de la medición. Cuando se le dé al sistema un juego de especificaciones para probar un producto aleatorio, este deberá de ser capaz de determinar si su exactitud y precisión combinadas con la variación previamente aceptada es o no fiable y estable para saber el estado actual de nuestro herramental.

La variación de la medición (gauge) en el sistema o proceso de producción se ve afectada por elementos tales como:

- 1 Exactitud.
- 2 Repetibilidad.

- 3 Reproducibilidad.
- 4 Estabilidad.
- 5 Linealidad

#### 6.3.1 La exactitud del proceso o sistema

La exactitud se refiere a que debemos de establecer o determinar la verdadera media utilizando la media observada y para que éstas dos sean lo más parecidas posible se deberá medir con el equipo más exacto disponible.

#### 6.3.2 La repetibilidad del proceso o sistema

Es aquella variación en mediciones realizadas por un solo operador, utilizando el mismo instrumento y mismas condiciones de medición.

#### 6.3.3 La reproducibilidad del proceso o sistema

Es aquella variación en mediciones realizadas por un *más de un* operador, utilizando el mismo instrumento y mismas condiciones de medición.

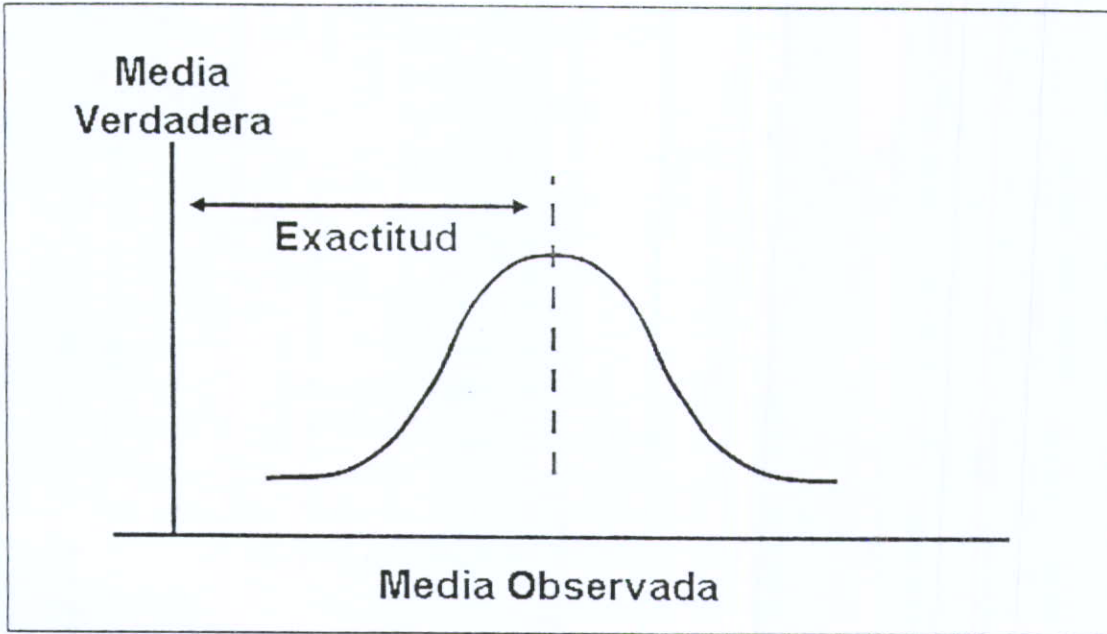


Fig. 6.3 Media Observada Vs. Media Verdadera (exactitud)

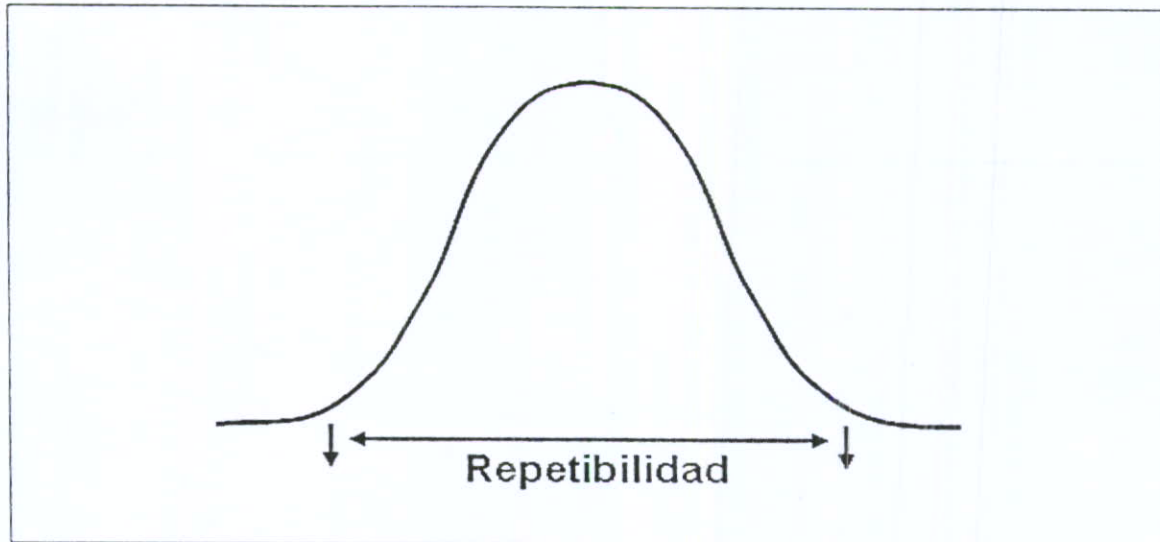


Fig.

6.4 Variación de Repetibilidad

#### 6.3.4 La estabilidad del proceso o sistema

Es aquella variación en mediciones al utilizar el mismo instrumento y mismas condiciones de medición; pero en diferentes tiempos.

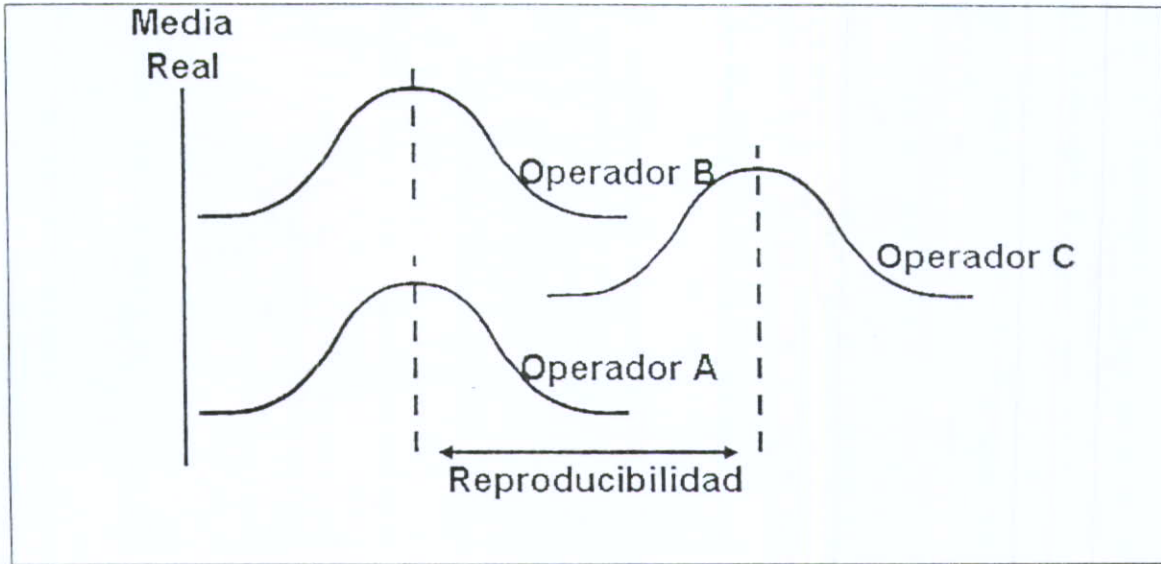


Fig. 6.5 Variación de Reproducibilidad

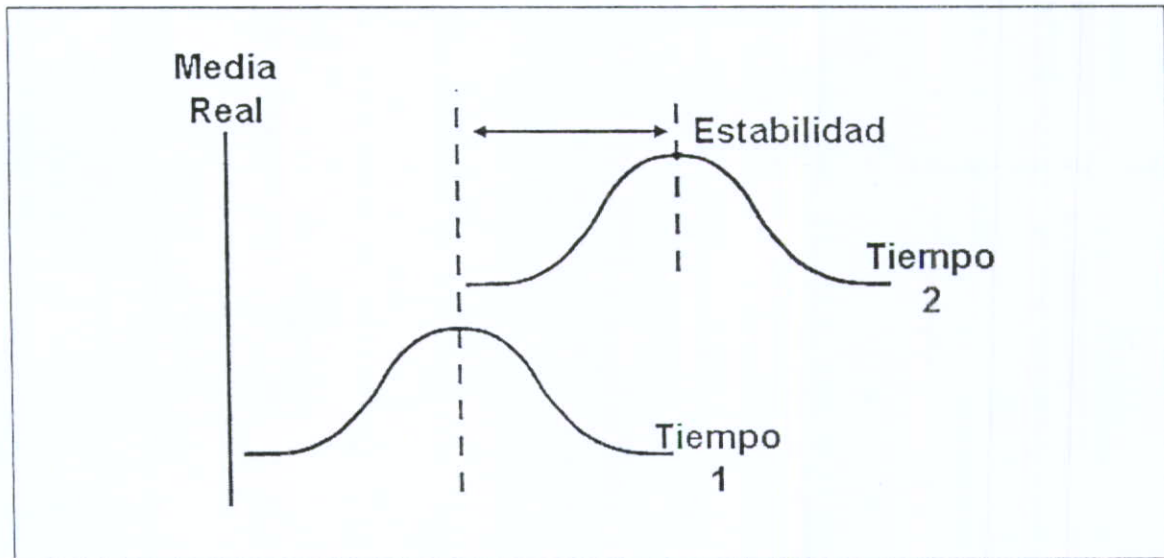


Fig. 6.6 Variación de la Estabilidad

### 6.3.5 La linealidad del proceso o sistema

Es aquella variación *en la exactitud* de las medias al utilizar el mismo instrumento y mismas condiciones de medición, a través del rango esperado en uso.

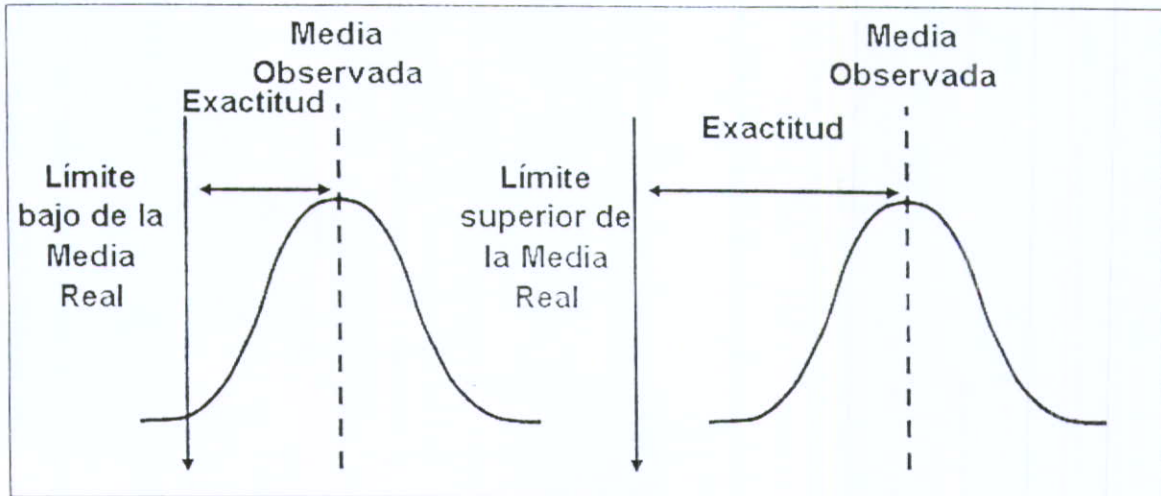


Fig. 6.7 Variación de la linealidad

#### 6.4 Exactitud vs. Precisión

Muy probablemente usamos estos dos términos pensando que significan lo mismo, pero existe una gran diferencia entre ellos. Se ha hablado mucho de exactitud, y su variación en el proceso o sistema de producción, así que consideramos importante distinguir estos dos términos.

Para entender mejor estos dos conceptos, decidimos representarlo de manera gráfica en la figura 9.4.1

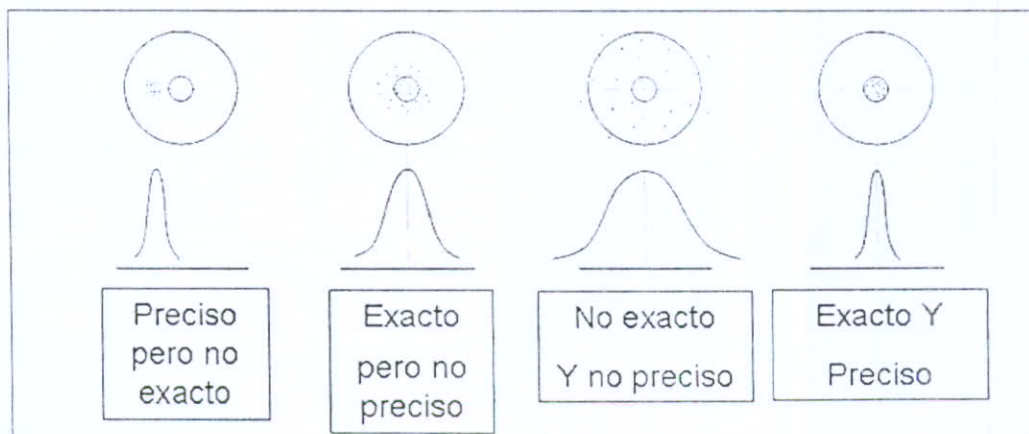


Fig. 6.8 Diferencia entre exactitud y precisión (Curso interno par empleados de Flextronics)

## 6.5 Algo de teoría estadística para el GR&R

El criterio por determinar la aceptabilidad de un sistema de la medición es dependiente en el porcentaje de la tolerancia de la especificación que se usa para el error del sistema.

Las normas para la aceptabilidad de GR&R utilizadas son las siguientes:

1. Si es menor o igual al 10%, el herramental está en condiciones muy buenas o aceptables.
2. Si es mayor que 10% y menor a un 30%, el herramental y el operario necesitan ser validados o bien vigilados, pues podría fallar en cualquier momento. Y por último,
3. Si es mayor a 30%, se necesita una reparación en el herramental o bien volver a entrenar al operario.

Para hacer los cálculos anteriores se puede utilizar una distribución Normal aproximada a una binomial o bien se puede utilizar el análisis de varianzas o también diseño de experimentos. No es nuestra intención profundizar mucho en ello ya que es un tema muy completo y no deseamos desviar la atención a un tema que no es el principal. Lo que se trata con esto es de dar sólo un introducción al GR&R explicando sus principales puntos, procesos de preparación y ejecución. Es importante mencionar que este método nos ayudó bastante en este proyecto.

## 6.6 Preparación para GR&R

El primer paso que debemos de hacer es establecer el propósito del estudio, determinando qué tipo de información es requerida. Para ayudarnos en esta tarea hemos incluido el diagrama de la figura 6.9 que muestra las preguntas que deben ser respondidas.

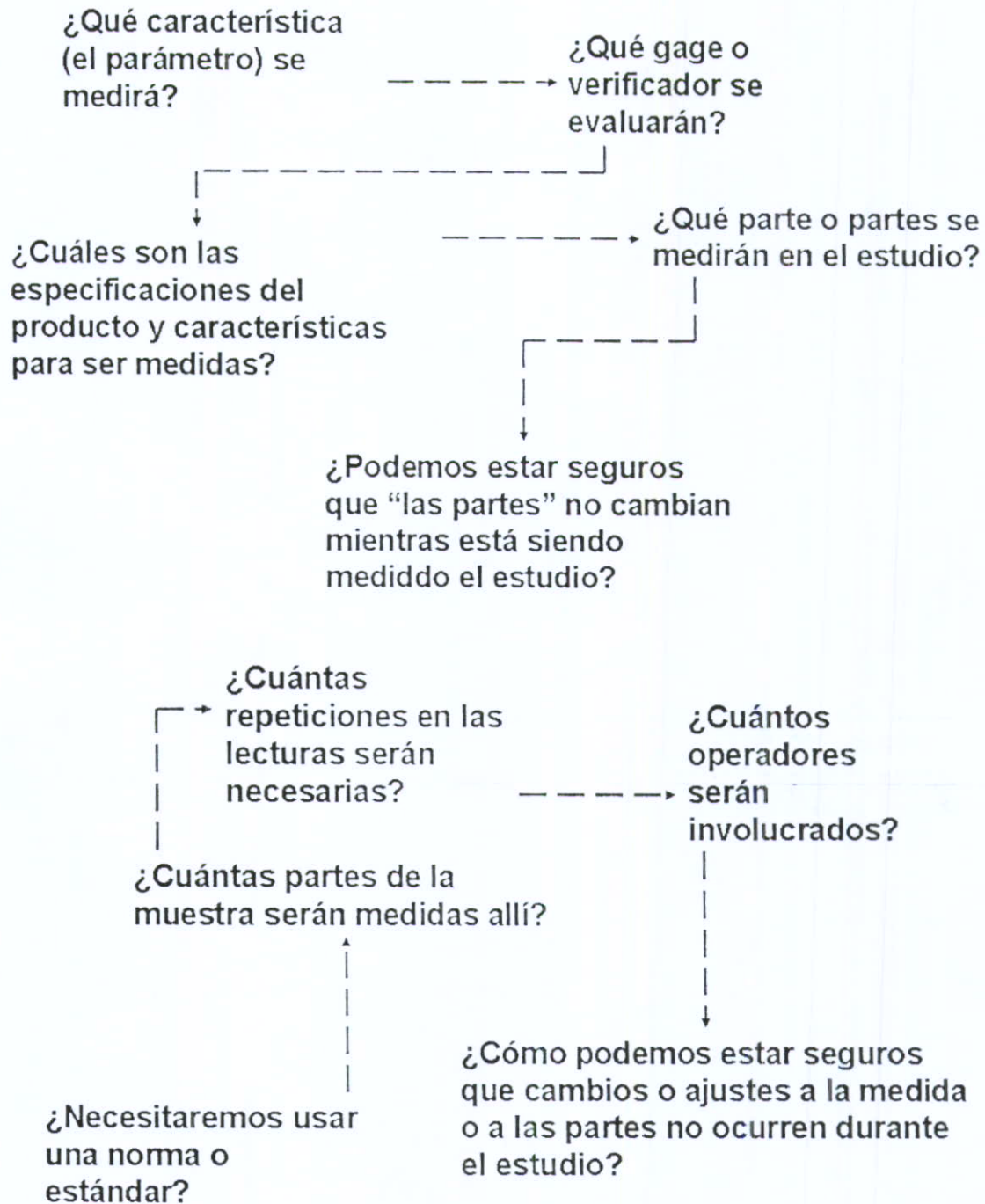


Fig. 6.9 Preparación del GR&R.

## 6.7 Procedimiento para GR&R

Se puede requerir el estudio de GR&R para dos tipos de datos: Aquellos cualitativos, que son los que no se pueden medir; pero sí clasificar o contar. Y por otro lado, tenemos también datos cuantitativos, los cuales sí son medibles. Entonces, según sea el tipo de dato que estemos estudiando, será diferente el número de operadores o inspectores que deben hacer las pruebas, el número de partes, número de ensayos y claro las mediciones que se obtengan con dichos datos.

A continuación presentaremos unas tablas, en donde a nuestro criterio se han ido definiendo dándonos resultados satisfactorios:

Datos Cuantitativos	Datos Cualitativos
<b>Número de Operarios o Inspectores</b>	
Usar a 3 operadores para mediciones en la parte, cuando no se sabe el GR&R %	Usar 2 operadores para todos los estudios
Usar a 2 operadores para mediciones en la parte, cuando estudios anteriores de GR&R ha sido menor al 20%	Un solo operador no podrá ser utilizado

Prejuicio del Operador	
Para evitar, es necesario no permitir que el operador observe su propia medición o las anteriores.	Para evitar, es necesario no permitir que el operador observe su propia medición o las anteriores.

<b>Número de Ensayos</b>	
Usar a 3 operadores para mediciones en la parte, cuando no se sabe el GR&R %	Usar de 2 a 3 ensayos para cada estudio.
Usar a 2 operadores para mediciones en la parte, cuando estudios anteriores de GR&R ha sido menor al 20%	No deberá ser menor a dos.

<b>Números de Partes</b>	
Usar 10 para mediciones, cuando no se sabe el % de GR&R	Usar 30 para mediciones, cuando no se sabe el % de GR&R
Usar 5 para mediciones, cuando estudios anteriores de GR&R ha sido menor al 20%	Usar 15 para mediciones, cuando estudios anteriores de GR&R ha sido menor al 20%

### 6.8 Implementando GR&R

Al igual que el capítulo anterior, la implementación del GR&R que se ilustra a continuación, fue como la hicimos en este proyecto y nos ha dado un resultado satisfactorio. También, recordemos que dependiendo del tipo de dato que se esté estudiando será distinta su implementación.

Para datos cuantitativos y cualitativos:

- Tener un miembro del equipo para identificar y marcar en todas las partes el punto exacto de la medición. Esto nos puede ayudar mucho, como por ejemplo para el espesor de la parte. Para evitar prejuicios dentro de las partes se deberá tomar todas las mediciones posibles en todas las situaciones.
- Seleccione a miembros del equipo que estén experimentados y especializados en el uso del material y mediciones, o bien en inspección visual (datos cualitativos).
- Numerar cada parte o herramental para tener su identificación individual y única.
- Si es posible, se recomienda un miembro especializado, dedicado a la calibración del instrumento, al menos para el primer ensayo. Sin embargo, esto dependerá del equipo que se tenga para medir, de su exactitud, de su complejidad, del tiempo que se necesite y su estabilidad.

Todas las mediciones deberán ser al azar tanto en partes como con operarios. Y no deberemos observar las mediciones pasadas, simplemente dedicarnos a las actuales para evitar prejuicios.

Para los datos cualitativos, sugerimos manejar los resultados binomialmente, es decir 0 si aceptamos una buena parte o bien si rechazamos una mala parte y 1 si aceptamos una mala parte o bien si rechazamos una buena parte.

Existe Software para el cálculo de GR&R e incluso se puede hacer en una hoja de cálculo. Esto dependerá de la manera como lo quiera hacer la empresa.

Se aclara que no es nuestra intención el explicarle al lector la manera de calcular el % de GR&R. Por el contrario solamente se pretende dar a conocer qué es el GR&R y para qué nos sirve, ya que fue la técnica que nosotros empleamos para conocer el estado actual de los fixtures, y poder darles su acción correctiva requerida. El estudio GR&R da como resultado un factor que refleja la condición del sistema de medición y prueba, en esta tesis un determinado fixture de ICT y además, proporciona la información necesaria para ver si este fixture puede ser utilizado o no y evitar paros de producción por utilizar un herramental en mal estado o no confiable.

## **CAPITULO VII SMED y la reducción de ajustes**

## 7.1 Introducción

*"Tres clases hay de ignorancia: no saber lo que debiera saber, saber mal lo que se sabe, y saber lo que no se debiera saber."*

*La Rouchefaucauld*

La meta de toda compañía es reducir dramáticamente el tiempo que toma desde que el cliente coloca la orden de compra, hasta que el producto es entregado.

Haciendo una reducción de ajustes se puede lograr lo anterior, aún cuando nos encontremos en un ambiente de gran variedad y poco volumen. También se logra una reducción en inventario porque soporta la producción después de que el cliente ha colocado la orden de compra, eliminando la necesidad de producir en base a pronósticos de demanda del mercado.

SMED Parte de sus iniciales en inglés Single-Minute Exchange of Die que quiere decir Intercambio de herramental a un solo dígito de minutos. El sistema SMED es una teoría y un conjunto de técnicas que hacen posible realizar un ajuste en menos de 10 minutos. SMED se origina en 1983 cuando Shigeo Shingo escribió un libro titulado *"El sistema SMED, una revolución en la manufactura"*, basado en la reducción impresionante de tiempo de ajuste que se había hecho en Toyota, con su ayuda y la de Taichi Ohno (Gerente de Ingeniería de Producción). En su libro explica que la meta del SMED es mejorar la capacidad de producción de familias distintas, reducir el inventario y sus costos derivados del mismo; reducir scrap y retrabajos; y hacer en un solo ajuste el cambio de una familia "A" a una familia "B". Para lograrlo, se tienen las 3 fases mencionadas en el punto 7.4.1 de éste capítulo. Sin embargo, sugerimos realizar y aplicar las 5s antes de comenzar con la primera fase del SMED.

Originalmente SMED, era para mejorar el tiempo de vida de las máquinas de producción teniendo todo lo necesario para que así lo fuera, herramientas, mantenimiento, refacciones, etc. Es importante señalar que muchas veces no vamos a poder reducir a un solo

dígito de minuto, pero sí vamos a reducir el tiempo dramáticamente en casi todos los casos. Y como se sabe, reducir los tiempos de un ajuste trae muchos beneficios para las industrias y para el personal de la misma.

## 7.2 ¿Por qué SMED es importante para las industrias y su personal?

Hoy en día los clientes quieren variedad en productos y sólo las cantidades que ellos piden; esperan alta calidad, buen precio, rapidez y entrega a tiempo.

SMED ayuda a las industrias a cumplir estas necesidades del cliente con menos tiempo de ocio en las líneas de producción, haciendo lotes pequeños de piezas. SMED le da un giro total al paradigma de que los ajustes tardan demasiado tiempo. Cuando los ajustes pueden ser hechos rápidamente, éstos pueden ser realizados tan seguido como se necesiten, y esto quiere decir que se puede hacer gran variedad de productos (mix). Todo esto nos lleva a satisfacer al cliente en lo que él necesita. Lo cual es:

- **Flexibilidad:** El hecho de poder hacer varios productos y poco volumen de ellos.
- **Entrega a tiempo:** Como se manejan lotes o cantidades pequeñas de producción, esto implica que el tiempo de entrega de nuestros proveedores será menor y también lo será el tiempo que se tarde en entregar la mercancía a nuestro cliente<sup>6</sup>.
- **Mejor calidad:** Al manejar lotes y cantidades pequeñas de producción, también habrá menos inventario de producto terminado y tanto en línea como en el almacén se podrá tener un mejor control y manejo del material o materia prima<sup>6</sup>.

6. Goldratt Eli, "La Meta"

- **Alta productividad:** Al reducir el tiempo de los ajustes se reduce el tiempo de ocio de producción aumentando así la eficiencia de las máquinas.

Ajustes mas rápidos, implica un mayor control de los mismos; al haber un mayor control de los mismos habrá una mayor seguridad, menor riesgo a ser lastimado, más fácil será el trabajo y tal vez hasta menor sea el número de herramientas que haya que utilizar, es decir en pocas palabras lo hace mas fácil, rápido y seguro.

### 7.3 Tipos de ajuste y su procedimiento

Existen dos tipos de ajustes:

- *Interno:* Es aquel que sólo se puede hacer cuando la máquina esté apagada.
- *Externo:* Es aquel que se puede hacer mientras la máquina está funcionando.

Obviamente lo ideal es tratar que todos los ajustes sean externos.

Por ejemplo, se va a revisar el aceite y el nivel de gasolina de un carro, para revisar el nivel de gasolina, no se necesita apagar el carro ni tampoco estacionarlo (ajuste externo). Por otro lado para revisar el aceite se necesita apagar el carro y estacionarlo (ajuste interno). En general el proceso para realizar un ajuste se hace en 4 pasos; sin embargo, según la empresa, personal y material este podrá variar. Los 4 pasos para realizar un ajuste son los siguientes:

- 1.- Preparar y revisar todos los materiales y herramientas así como estar conscientes de los ajustes al finalizar el proceso o ciclo de la máquina.
- 2.- Remover y montar partes, herramientas, etc.
- 3.- Medir, calibrar y ajustar.
- 4.- Pruebas y ajustes en funcionamiento.

## 7.4 Implementación del SMED

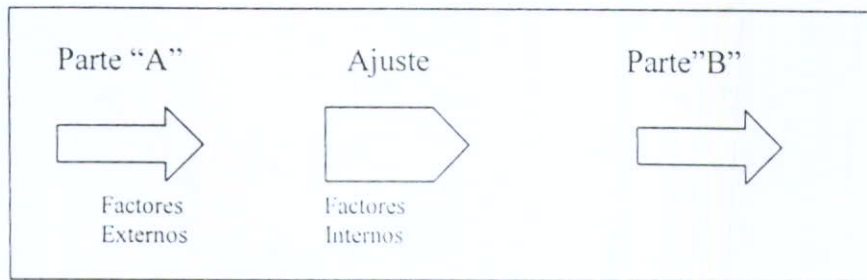
Para estar listo a Implementar SMED, se debe echar un vistazo para saber la manera en que actualmente se realiza un ajuste. A esta etapa se le conoce como Análisis del Ajuste y puede ayudar lo siguiente (no es obligatorio):

- a) Grabar el proceso entero del ajuste. Si no es posible grabar se puede mapear (dibujar) el proceso con diagramas de flujo.
- b) Preguntar opiniones, sugerencias, lo que hacen, a todo el personal que hace o de una manera está involucrado en dicho ajuste.
- c) Estudiar el tiempo y el proceso de cada paso del ajuste.

### 7.4.1 Las tres fases del SMED:

La *primera fase* es identificar y separar los ajustes Internos y los Externos, para esto nos puede ayudar de técnicas como, lista de chequeo, funciones de mantenimiento previo (revisar si la máquina hace lo que tiene que hacer bien), tener a la mano todo lo necesario para en caso de detectar alguna falla en la máquina, antes de que ésta se detenga llevar la parte necesaria para su funcionamiento; mejorar el tiempo de respuesta y recordar no deshacernos de las partes viejas de la máquina, mantenerlas en reparación hasta que esté funcionando correctamente con la nueva pieza adquirida.

Todos los que están operando el proceso real, así como el equipo formado para la reducción de ajuste, deberán analizar y “mapear” el proceso. Es importante compartir las ideas y pensamientos de cada persona con el fin de eliminar aquellos factores externos obvios que causan tiempo muerto. No se puede perder de vista los comentarios de la gente que usa la máquina, (es decir los operadores) pues ellos son lo que pueden dar un mayor beneficio por estar en contacto directo con la máquina de ajuste.



*Fig. 7.1 Proceso de ajuste*

La *segunda fase* del SMED es convertir uno o varios ajustes internos a externos, no permitir que por “costumbre” se siga haciendo de esa forma. Tratar de romper paradigmas, creencias e implementar un cambio. Estandarizar las funciones, pensar cómo se puede optimizar un recurso reemplazando la menor cantidad de componentes y recordar que la manera más rápida de reemplazar algo es por supuesto no reemplazar nada o bien reemplazar lo más poco que se pueda. Utilizar un comodín, es decir un tercer componente para dos máquinas, mientras una se ha dañado se tiene el de “emergencia” se cambia y la máquina sigue trabajando se trae el nuevo componente se cambia y de nuevo queda libre y otra vez listo para tal vez soportar la otra máquina (es lo más seguro). Lo ideal sería que todos los ajustes internos se movieran a externos, recordando la definición de cada uno de ellos, con el resto de los ajustes internos se debe analizar cada uno detalladamente para saber su función y propósito del mismo.

De entrada se puede citar algunos ejemplos que casi siempre se tienen clasificados como ajustes internos cuando en realidad son externos: tomar herramientas de otro lugar aparte, escribir programas o bajar programas a la máquina, medir el desempeño de las herramientas o componentes.

Para analizar cada ajuste interno se recomienda seguir el método de las 5 veces ¿Por qué?. Todos los problemas pueden ser resueltos si se logra encontrar la causa raíz de dicho problema. El preguntar 5 veces ¿Por qué?<sup>7</sup> es una herramienta muy poderosa para encontrar dicha causa. Para el caso de reducción de ajuste, ésta técnica nos sirve para determinar cuándo un ajuste interno puede ser eliminado, combinado o convertido en un ajuste externo.

Se debe analizar cada ajuste interno iniciando con la siguiente pregunta:

¿Cuál es propósito o función de este ajuste interno?

Dependiendo del ajuste, se deberán hacer las siguientes preguntas adicionales cada una de ellas seguida por las 5 veces ¿Por qué?

¿Cómo, dónde o cuándo este ajuste comenzó a realizarse? (luego preguntar 5 veces ¿Por qué?)

¿Quién y cómo lo está haciendo? (luego preguntar 5 veces ¿Por qué?)

Estas son algunas sugerencias, pero lo importante aquí es adentrar lo más que se pueda en dicho ajuste para ver si se puede eliminarlo, combinarlo o convertirlo en un ajuste externo. Se sabe que van a quedar ajustes internos pero no como al principio se tenían.

La *tercera fase* del SMED es racionalizar todos los aspectos del ajuste de operación. Aquí tanto los ajustes internos como externos se miran con lupa para ver cómo se pueden hacer más ágiles. Se puede atacar los ajustes externos mejorando el transporte o ubicación de las partes y herramientas, tener todo en su lugar, bien organizado y listo (metodología 5 s. Explicada en esta tesis) para la siguiente operación. De la misma forma, para los ajustes internos se pueden tener procesos en paralelo o también utilizar más de un solo recurso.

7. Taichi Ohno, The Toyota System

En general esta etapa se concentra en reducir el proceso de ajuste a tan solo tres pasos, remover familia “A”, instalar familia “B” y producir familia “B”. En otras palabras reducir los ajustes internos y externos al mínimo.

Las definiciones de desperdicio de ajuste son las siguientes<sup>8</sup>:

- a) Desperdicio de Ajuste Interno: Actividades requeridas para remover e instalar herramientas.
- b) Reemplazo del Desperdicio: Actividades relacionadas para remover componentes de la herramienta “A” para ser instalados en la herramienta “B”.
- c) Ajuste del Desperdicio: Cualquier actividad que pudiera causar que durante el ciclo de la máquina o en periodo de prueba, los productos necesiten ser inspeccionados, la posibilidad de ser desechados o retrabajados.

### **7.5 Desperdicio de Ajuste Interno**

Se debe de enfocar en tratar los siguientes puntos:

- Eliminar el movimiento innecesario de la persona que está haciendo el ajuste.
- Reducir el esfuerzo manual requerido de las personas que hacen el ajuste.
- Eliminar o reducir el tiempo de espera del herramental.

Una vez analizado el mapeo del proceso, considerar la opción de poder agregar una persona más para reducir dicho movimiento de ajuste. Tal vez dos personas trabajando en paralelo puedan reducir significativamente el tiempo requerido para la actividad.

8. Shigeo Shingo. The SMED System (viene de la página anterior)

Para el segundo punto, se puede cambiar las herramientas que se utilizan. Se debe cerciorar que son las más fáciles de usar y las correctas para dicho ajuste, se debe evitar que la persona use sus manos como herramienta, y es mejor si se cuenta con todo un juego de herramientas supervisado por el personal de mantenimiento y equipo.

Para el tercer punto, se puede utilizar grúas, montacargas, un carrito de herramientas, y todo aquello que facilite tener todas las herramientas correctas y necesarias de manera rápida en la máquina de ajuste (nótese la importancia de establecer 5 S. Explicada en el capítulo cuatro de esta tesis).

Es necesario eliminar el mayor número de actividades realizadas durante el cambio de herramientas usando el método de preguntar 5 veces ¿Por qué?. También aquí se puede cambiar el uso de desarmadores, tuercas, tornillos por palancas manuales fáciles de operar. Tratar de rediseñar la forma de poner los componentes; es decir, tal vez utilizar rondanas o un hueco más grande con un camino que lleve al hueco más pequeño para ahora así ajustar. Es decir, utilizar el ingenio para que cuando se deba de apretar o colocar algo, sea la manera más sencilla. También se puede utilizar marcas o colores que indiquen hasta qué altura apretar, o cuándo se requiere un ajuste. Se vale todo, recordar que la creatividad siempre debe estar presente.

Esto podrá sonar a 5 S; por eso se hace hincapié en la importancia de que para este tipo de reducción de ajustes resulta indispensable un ambiente de 5s.

La meta es que una vez que ha salido bien la familia "B" no deben de existir más ajustes internos, ya que cualquier ajuste interno será un paro a la línea y será costoso. Además ¿no se supone que ya estaba todo listo?

El éxito de SMED y la velocidad con la que este ocurra, depende de lo bien que la gente esté entrenada e involucrada en el proceso de ajuste, el compromiso que haya del equipo, su entusiasmo, su creatividad y su autoridad.

Estas personas van a tener las siguientes responsabilidades:

- Desarrollar y entender claramente la visión general de la compañía y qué parte del ajuste es crítico para lograr tal visión.
- Entender de qué se trata una reducción de ajuste.
- Participar en el diseño, desarrollo e implementación de reconocimientos y premios a la excelencia en el ajuste.
- Dar a toda planta un breve resumen del proceso de reducción de ajuste.
- Lanzar los proyectos de ajuste
- Entrenar y capacitar a personal y entrenadores para llevar a cabo el proceso de reducción de ajuste así como seguir mejorando otras áreas de la compañía.

#### **7.6 Selección del equipo de trabajo:**

Se sugiere esté formado entre 5 y 8 personas en total y que entre sus integrantes se encuentren las siguientes personas:

- Un representante del equipo que opere la máquina en cuestión.
- Un operador de la máquina por cada turno.
- Personal de mantenimiento de la máquina.
- Personal de ingeniería de procesos y manufactura
- Personal de planeación y control de producción.

Se recomienda que estos miembros sean personas nuevas y tener frescos los ojos que no estén viciados en el proceso, que no tengan viejos hábitos. Esta recomendación radica en que estos pueden aportar ideas más ricas al ajuste.

De preferencia que la primera máquina a ajustar cumpla con el siguiente criterio:

- Tenga un largo tiempo de ajuste
- Fabrique una familia que se produzca en línea regularmente

Ahora sí, todo listo para comenzar el proceso SMED de reducción de ajustes, pero no se debe olvidar lo más importantes de esto, debe ser el reconocer y premiar de manera pública el esfuerzo de aquellas personas involucradas en este proyecto, desplegar los resultados que se van obteniendo. Si esto se logra es debido a la calidad del personal que se tiene en la compañía y es un deber hacérselos saber.

## **CAPITULO VIII Proceso de cambio de modelo en SMT**

## 8.1 Introducción

*“Para investigar la verdad es preciso dudar, en cuanto sea posible, de todas las cosas”*

*René Descartes*

Antes que nada hay que definir en qué consiste un cambio de modelo. La cantidad de tiempo en el cual la línea de SMT se encuentra parada (sin producir) durante la transición de producir una tarjeta de circuito impreso a producir otra de características diferentes es conocido como “tiempo de cambio de modelo”.

El proceso de cambio puede dividirse en tres fases

- Preparación de materiales.
- Preparación de línea de producción.
- Ajustes de línea y arranque de producción.

Durante el proceso de cambio se llevan a cabo varias actividades, algunas de ellas secuenciales y otras en paralelo. Lo importante es saber qué variables de entrada afectan al proceso y que variables de salida resultan por el mismo.

## 8.2 Preparación de Materiales

La preparación de materiales es una parte compleja y laboriosa; y muchas de las veces no se nota por ser un proceso separado de producción. Sin embargo, es un proceso muy dinámico que involucra a personas de diferentes departamentos, todos ellos dependiendo en gran medida de sistemas de información de diferentes áreas como son: compras, inspección y recibo, almacén, departamento de tráfico y logística de transportación. Las principales etapas se describirán a continuación.

### 8.2.1 El plan de Producción de la línea de SMT.

Este documento es la guía de lo que se va a producir y debe ser conocido en todos los niveles a fin de cumplir con los pedidos del cliente de manera oportuna y sin retrasos. Las principales entradas de este documento son las órdenes de compra del cliente, el pronóstico de ventas o alguna petición urgente que el mismo cliente requiera y que se tenga que programar. Por ello resultan convenientes juntas periódicas de revisión del plan con objeto de que todos los departamentos estén preparados para asegurar la fabricación del producto de acuerdo al plan. En ocasiones la disponibilidad de material o algún herramental puede retrasar la corrida de producción.

### 8.2.2 El requerimiento del Kit de materiales.

En base al plan de producción, el área de preparación de materiales, solicita un kit de materiales al almacén. Una entrada crítica de este proceso (requerir Kit), es la disponibilidad del material tomando en cuenta los inventarios reflejados en el sistema. La salida de este proceso es la orden o lista de preparación de materiales del planeador de producción al almacén. Dicha lista de materiales debe contener información necesaria para completar el kit de materiales, información como de cuáles localidades tomar el material, si se tomará de almacén o de un material entregado a piso de producción en un surtido previo; o incluso si será necesario esperar la llegada de un material; además de contener la cantidad a surtir y en qué presentación. Cabe resaltar que si algún material se tiene en diferente presentación o empaquetado debe de notificarse al planeador o al controlador de producción para tomar las medidas necesarias y corregirlas.

### 8.2.3 Material puesto en Kanban

Una vez completado el kit y referenciado por su número de orden, se debe de aislar y colocar en una localidad previamente designada como material listo para surtir a piso de producción.

### 8.2.4 Proceso de surtido de Kit

Es el proceso de mover tanto físicamente como en sistema el material ubicado en localidad de kanban hacia el piso de producción. Implica el uso de una terminal de computadora y lectores de código de barras que auxilian y agilizan el proceso.

### 8.2.5 Validación de Kit

El proceso de surtido termina con la validación del kit de producción por la persona que recibe dicho material, en cuanto a número de parte y cantidad del mismo.

## 8.3 Preparación de la línea de SMT

### 8.3.1 Preparación de instrucciones de trabajo de SMT

Las instrucciones de trabajo son críticas. Deben de estar bajo control de revisiones, fáciles de entender y precisas en su contenido. Se considera crítico debido a que los cambios o mejoras al proceso son frecuentes en el ambiente de la manufactura. Mejoras debido a diseño del producto, debido a mejoras de ergonomía de la estación de trabajo, a la inclusión de determinado herramental obligan a modificar las instrucciones de trabajo para reflejar estos cambios y es esencial contar con dichas instrucciones actuales y no estar con las anteriores. El estar con una instrucción de trabajo obsoleta generará la fabricación de un

producto no conforme en muchos sentidos: calidad, diseño, configuración por dar algunos ejemplos.

### 8.3.2 Preparación o cargado de software de máquinas

El software o programa de SMT indica a la máquina qué componentes colocar y en dónde (típicamente coordenadas X,Y) y al igual que las instrucciones de trabajo, también se considera una operación crítica y se debe de asegurar siempre utilizar la última revisión del programa por las mismas razones explicadas en el punto 6.2.1. Como comentario adicional se hace mención que todas las máquinas de SMT cuentan con un sistema de tipo *pokayoke* en su lenguaje de programación que accidentalmente tratan de utilizar otro programa de colocación de componentes que no corresponde en dimensiones físicas al producto a ensamblar, se autoprotege y marca un error de procesamiento.

En el caso de hornos de reflujo y soldadoras de ola también aplica el cargar un programa que determina la temperatura adecuada para llevar el horno o soldadora, para fundir correctamente la soldadura.

### 8.3.3 Preparación y montaje de herramental

Todo el herramental a utilizar en la línea, tal como estencil de impresora de pasta, fixture de ICT u otros deben de comenzar a prepararse y montarse en su respectivo equipo. Esto va ligado a dos cosas: A un buen almacenamiento de herramental y a un sistema de mantenimiento preventivo que asegure el buen funcionamiento de los mismos.

## 8.4 Ajustes y arranque de producción

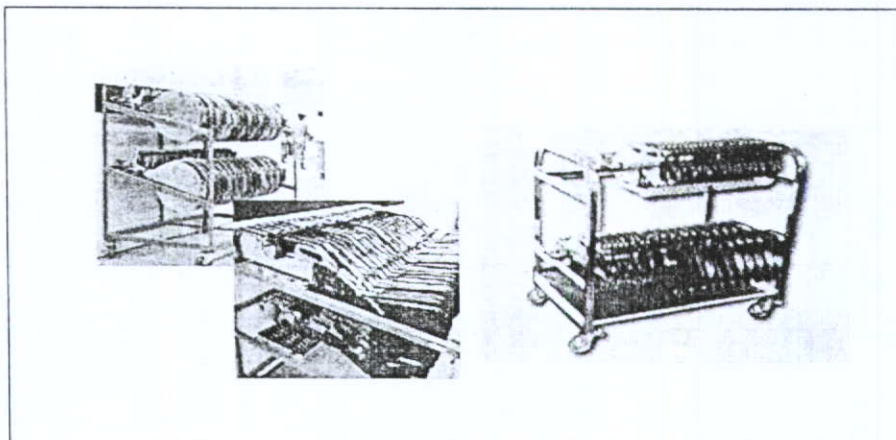
### 8.4.1 Montaje o cargado de material en alimentadores de SMT.

Es quizás el proceso más laborioso y delicado del proceso de cambio. Dichos alimentadores son dispositivos delicados ya que utilizan sistemas mecánicos y neumáticos de avance. Existen además alimentadores para cada tipo y empaquetado de los mismos. Los alimentadores requieren de calibración o ajuste y un sistema para control de su mantenimiento. El proceso de carga se basa en una lista que indica en cuál material (número de parte) y en que posición o ubicación debe ir montado en la máquina. Esta lista de cargado es generada por el programador de software de la máquina colocadora de componentes.

Este proceso de carga puede auxiliarse de carros de almacenaje y de accesorios auxiliares de montaje (ver Fig. 8.1)

#### 8.4.2 Validación del cargado de SMT.

La mayoría de las máquinas de colocado de componentes cuentan con la opción de lector automático de código de barras para validar que se esté cargando el material correcto.



*Fig. 8.1 Carros de alimentadores de SMT*

En ausencia de éste se puede realizar una validación manual por parte de un departamento de aseguramiento de calidad.

Es deseable también la medición con instrumentos en aquellos componentes electrónicos pasivos tales como inductores, capacitores y resistencias

#### 8.4.3 Ajuste y validación de máquinas.

Es un proceso que verifica que el software y el herramental estén correctamente cargados y montados; así como la máquina no presente ningún error de operación en su pantalla antes de comenzar la producción.

#### 8.4.4 Fabricación de unidades de prueba y validación de calidad

Una vez cargado el material y completa la validación de las máquinas se procede a fabricar unidades de prueba. Al fabricarlas y hornearlas se les inspecciona por *criterios cosméticos* y de calidad de soldadura antes de pasarlos a una prueba de resistencia a voltaje alto. Cualquier desviación en el resultado implica una corrección al proceso.

#### 8.4.5 Prueba de proceso e inicio formal de producción en masa.

Al finalizar la validación por criterios cosméticos, se inicia la validación de proceso en los sistemas de prueba ICT, AOI o AXI, dependiendo del sistema disponible o configurado para el ensamble. Una vez que pasan las pruebas y se retroalimenta a la línea de los defectos que se hubieran encontrado se libera la línea para su formal inicio de producción.

### 8.5 Medición del tiempo de cambio de modelo

No importa realmente qué etapa se elija como punto de medición; lo importante es llevar un buen control del mismo. Es recomendable que sea al final de la etapa de ICT puesto que es

cuando se sabe que la tarjeta del producto entrante pasó con éxito y por lo tanto el trabajo realizado en la línea de SMT fue correcto.

Si se hace caso al consejo anterior, se tomará al proceso de ICT como punto de medición, el reloj comenzará a contar a partir de la finalización de la prueba del modelo saliente y se parará al momento de probar con éxito el modelo entrante con sus unidades de prueba.

## **CAPITULO IX Los elementos humanos en el manejo de operaciones**

## 9.1 Introducción

*"En todas las cosas humanas, cuando se examinan de cerca, se demuestra que no pueden apartarse los obstáculos sin que de ellos surjan otros."*

*Maquiavelo*

No se va a tratar de comprender el comportamiento humano, tampoco qué factores físicos o síquicos de la industria y del personal son claves en la teoría organizacional, lo importante es realzar la importancia del recurso humano dentro de la empresa.

Aún en plantas automatizadas en su proceso de producción, el personal ocupa un papel fundamental en el mantenimiento de las máquinas, control del flujo de materiales, la calidad, capacidad de producción y varias actividades más.

No importa qué tan sofisticada sea la compañía, si el personal no trabaja efectivamente, no va a funcionar bien nada de lo que realice o se proponga. En contraste, algunas plantas con un primitivo hardware y software son enormemente productivas y eso se debe precisamente al personal que en ella labora.

## 9.2 Los elementos humanos en el manejo de operaciones

Mejorar el sistema de manufactura no es simplemente cuestión de identificar restricciones y moverlas según convenga. Ciertamente algunas mejoras si podrán ser hechas de esta forma, pero en otras ocasiones, para mejorar sólo podrá ser útil premiar a la gente, dar incentivos, tener un mejor liderazgo y manejo de personal.

Todos nosotros, como seres humanos, tenemos mucho en común. Contadores, filósofos, licenciados, poetas, ingenieros, escritores o científicos de alguna u otra forma buscamos vivir bien y ser felices. Éstas son variables críticas de la sociedad y por ende de una industria, las cuales muy difícilmente se pueden representar en fórmulas matemáticas.

Aparte de lo anterior, cada persona trata de encontrar su vida interesante. Los operadores todo el día están en contacto con máquinas o componentes y los gerentes con trabajadores. Cada uno de ellos se motiva de distinta forma o con cosas diferentes. Muy frecuentemente nos preguntamos por qué algunas personas hacen lo mismo, teniendo el mismo material o herramental, ganando lo mismo; en fin, todo en las mismas circunstancias. Existen individuos que simplemente hacen mejor su trabajo, y es que, no es lo mismo probar máquinas, que armar, o que empacar. Tenemos que darnos cuenta que aunque parezcan irrelevantes esas diferencias, se debe de tener cierta habilidad para cada una de ellas.

Hoy en día la manera de motivar a los trabajadores es muy diferente, ya que hay desde comidas departamentales, juntas donde no hay niveles jerárquicos y todos son escuchados y tomados en cuenta; incentivos, comunicación. El descubrimiento de las habilidades de cada integrante y su utilización, así como asegurar que cada trabajador se dé cuenta que es bueno en su trabajo y que le gusta realmente. Nunca falla la ley de lento a rápido; la cual dice que se debe de comenzar a utilizar siempre el recurso más lento o de menor capacidad pensando en tener flujo y un óptimo global y no uno local. Tal como lo menciona Goldrat en su libro de La Meta.

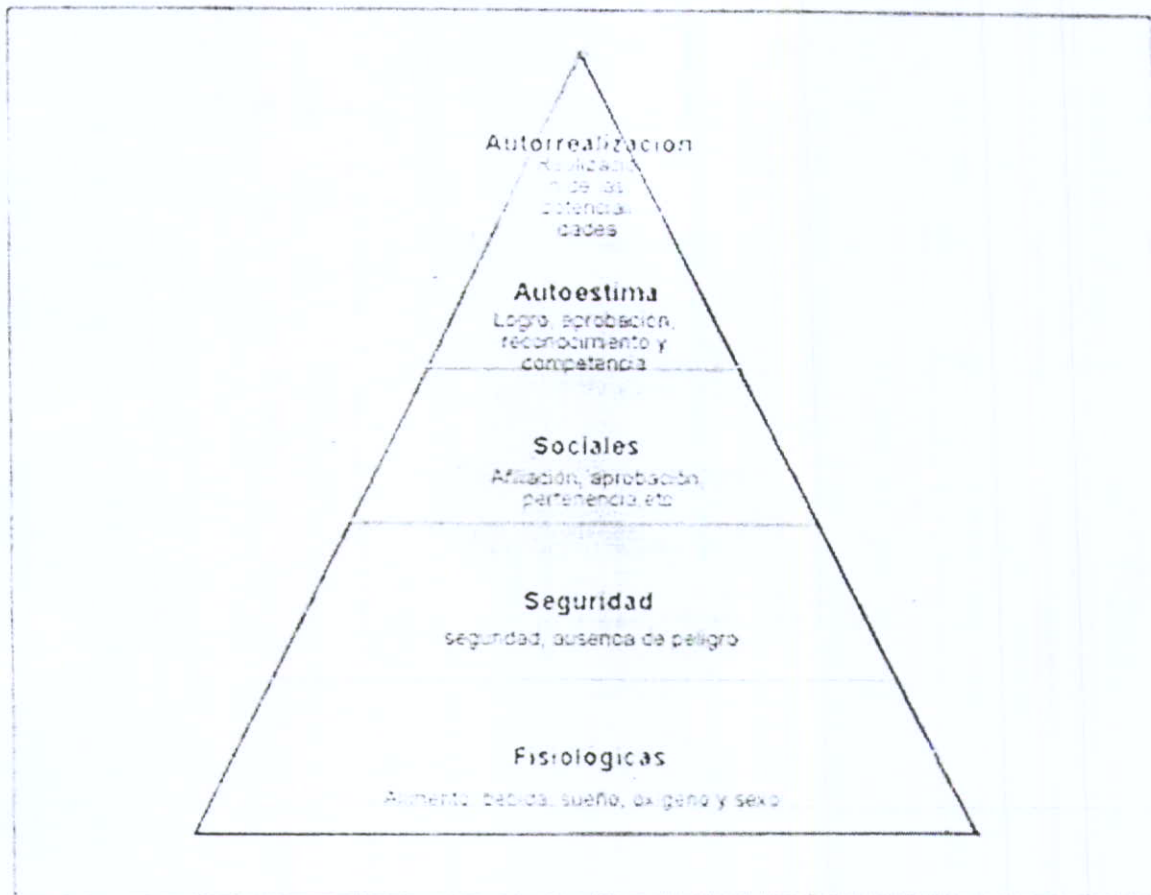
Es importante mencionar que la capacitación se debe de llevar a cabo correctamente, varias veces se han cometido accidentes laborales y faltas en auditoria y no es por consentimiento propio. La gran mayoría de las veces aquella persona que fue auditada ni siquiera sabía qué puntos debía de cuidar o cómo estar preparada; cómo realizar bien su trabajo, con qué herramientas. Es necesario conocer algo de la historia de la empresa en la que se está trabajando, aprovechamos para informarle lo que nuestro Maestro, el Lic. Zermeño mencionó en nuestro curso de recursos humanos en esta maestría: Las primeras 72 hrs. de un trabajador en su nuevo empleo son críticas y de ellas dependerá la motivación y entusiasmo que dicho personal ofrecerá a la empresa.

Se debe considerar que al decir incentivos no se debe de caer en premiar al mejor empleado o despedir al peor, esto ocasiona un ambiente de competencia y estrés; y la tendencia no es nada buena ya que el empleado que recibe cada mes lo mismo, el ser reconocido a la larga se va a enfadar de lo mismo, mientras que el peor empleado tendrá una mayor presión, lo que ocasionará que no logre hacer eficiente su trabajo. Con esto, lo único que se está haciendo es buscar óptimos locales; y recordando a Goldrat en su libro *La Meta*, se puede mencionar que los óptimos locales no benefician nada a la compañía ya que lo importante es encontrar un óptimo global, la cadena es tan fuerte como lo es su mas débil eslabón.

Para bien o mal, se ha observado una distinción fundamental entre las personas en cuanto a la actitud hacia su trabajo. Aunque todos los hombres fuimos creados de la misma manera, ello no implica que todos queramos lo mismo. Algunos prefieren responsabilidad, cambio y variedad en su trabajo; otros prefieren estabilidad, predecibilidad y poder terminar todo su trabajo en un mismo día.

En muchas empresas, al personal se le dan actividades de control calidad e identificación de problemas, asumiendo que ellos desean esta responsabilidad. Pero lamentablemente no siempre pasa esto. Otros en cambio solo quieren autoridad sin responsabilidad y tratan de tenerla y delegar la responsabilidad. El objetivo es ser equitativos en cuanto a la responsabilidad y autoridad.

Según Taylor (1913) el dinero es lo único que necesitaba el trabajador para motivarse. Pero luego vendrían Hugo Munsterberg (1913), Lillian Gilbreth (1914) y Elton Mayo (1933-1945), Maslow con su pirámide del mismo nombre; los cuales acordaron que no solamente el dinero es lo que cuenta para que un trabajador se motive, sino que tienen que satisfacer necesidades físicas y sociales. Reconocer su esfuerzo, ceremonias y convivencias, incrementan el ambiente organizacional para su mejora, incrementado así la flexibilidad en el trabajo, el reconocimiento de las empresas y su fama. En sí crea una atmósfera agradable para que cada persona haga su trabajo con calidad.



*Fig. 9.1 Pirámide de Maslow*

En resumen, decidimos hablar de la importancia de los Recursos Humanos, ya que no debemos descuidar el factor humano, puesto que metodologías como SMED, DMAIC o 5 S (explicados en esta tesis), cualesquiera que ésta sea, estas quedan en manos de personas y de ellas depende su óptimo funcionamiento.

## **CAPITULO X Principios en práctica**

## 10.1 Introducción

*“En cuestión de estilo, hay que nadar con la corriente....en cuestión de principios hay que mantenerse firme como una roca”*

*Thomas Jefferson*

Para el caso práctico, se trabajó con un producto de alta mezcla y bajo volumen, que tiene 104 ensambles con necesidades de entrega semanal y aunque no todos los ensambles son requeridos en la misma semana existen alrededor de 60 ensambles con al menos una orden de compra al mes. Esto quiere decir que al menos 60 ensambles son programados mes tras mes en la producción. Algunos ensambles son programados en producción más de una vez al mes y en promedio se tienen 70 cambios de modelo mensuales y se utilizan tres líneas de producción en tres turnos (mañana, tarde y noche)

La metodología utilizada fue DMAIC de Seis Sigma explicada en capítulos previos con sus 5 pasos o fases:

- Definir
- Medir
- Analizar
- Implementar mejoras
- Controlar

## 10.2 Fase 1: Definición

Se tiene como objetivo: “Reducir el tiempo de cambio de modelo para producción normal (no *corridas piloto o prototipo*) con el fin de que la utilización de la línea de SMT sea más efectiva”. La meta del proyecto es un tiempo promedio de cambio de 1 hora. El beneficio

obtenido al tener 1 hora de tiempo promedio es que al efectuar aproximadamente 70 cambios de modelo por mes (datos obtenidos de los reportes de producción) se desperdician 297 horas mensuales en cambios de modelo, lo cual se reduciría a tener 70 horas. Lo anterior significa que la reducción o ahorro en horas sería de 227 horas de producción ( $297 - 70$ ) horas equivalentes a 31 turnos de producción., que a final de cuentas permitirían eliminar un turno completo de producción en base mensual.

Para tomar referencia de inicio y paro en la toma de tiempos del cambio de modelo, se tomó el proceso de prueba de ICT como principio y fin del mismo proceso de cambio, es decir el reloj comienza a contar a partir de la última prueba del modelo saliente y se para en cuanto una de las tarjetas del modelo entrante finaliza su prueba exitosamente. La medición del estado actual en la duración del tiempo de cambio de modelo es mostrada en la Fig. 10.1. Estos tiempos abarcaron aleatoriamente los tres turnos de producción. Se busca aleatoriedad en cuanto a turnos y en cuanto a cambio de modelo "A" a modelo "B" debido a que con los 104 modelos las combinaciones son casi infinitas, por lo que turnos diferentes y combinaciones de cambio de modelo siempre estarán presentes, tal y como sucede en el día a día.

Fecha	Línea	Modelo	Tiempo total del cambio
3-ene	10	61141	4:00
5-ene	10	7873	2:10
7-ene	10	24333	2:20
9-ene	11	43980	7:05
11-ene	11	80301	4:00
11-ene	11	96930	4:00
11-ene	10	40580	5:20
11-ene	11	43702	5:20
12-ene	10	41391	4:15
14-ene	11	24063	3:45
14-ene	11	80762	6:00
14-ene	11	89110	4:40
15-ene	10	61705	5:00
15-ene	10	71570	5:45
15-ene	11	24000	3:50
16-ene	11	54452	2:55
16-ene	10	23970	5:40
16-ene	11	7873	6:35
17-ene	10	89160	3:35
18-ene	11	73825	2:55
18-ene	10	67790	2:50
18-ene	10	81972	3:45
19-ene	11	23990	4:35
19-ene	11	23960	1:45
20-ene	11	23541	4:35
20-ene	10	54390	2:45
20-ene	10	81435	7:15
21-ene	11	43702	6:45
21-ene	11	81962	3:45
21-ene	10	63800	4:50

**Tiempo promedio**  
**4:23**

Fig. 10.1 Medición del estado actual de cambios de modelos

Los resultados de la Fig. 10.1 hablan por sí solos. Aunque el promedio es de 4:23 horas, existen ensambles complejos que toman cerca de 7 horas para completar el proceso de cambio, lo que significa ¡casi un turno completo desperdiciado!, además, si se toma en cuenta que típicamente una línea de SMT emplea entre 20 y 30 operadores la eficiencia es prácticamente nula.

*Conformación del equipo seis sigma.* Un equipo de trabajo interdisciplinario al mando de un *Black Belt*, y apoyado por un *Master Black Belt* es formado a partir de la definición y objetivo del proyecto. Este equipo lo conforman:

- Grupo de *Green Belts* como expertos funcionales: Ingeniero de Procesos, Ingeniero de Producto, Ingeniero Industrial, Ingeniero de Pruebas, Planeador de Materiales, Ingeniero de Programación de máquinas de SMT.
- Supervisores de Línea de Producción (primero, segundo y tercer turno)
- Supervisor de almacén
- Supervisor de surtido de materiales
- Técnicos de máquinas de SMT (primero, segundo y tercer turno)
- Técnicos de Pruebas (primero, segundo y tercer turno)
- Operarios de producción (primero, segundo y tercer turno)

Otra de las actividades realizadas fue el mapeo de proceso. Como se explicó en el capítulo cinco, se trata de obtener una representación gráfica de los subprocesos con entradas y salidas a fin de comprender mejor el flujo del proceso de cambio. La figura 10.2 muestra este mapeo, el cual tomó como base toda la información descrita dentro del capítulo ocho y como puede observarse en dicha figura el proceso de cambio es muy extenso en la línea de SMT. Nuestro grupo de trabajo seis sigma clasifica y divide en tres etapas dicho proceso de cambio: preparación de materiales, preparación de línea, ajustes e inicio de producción. Durante una de las juntas locales de revisión del proyecto, la retroalimentación del Planeador de producción se centra en que la preparación de los materiales, aunque es un proceso relacionado con el cambio de modelo, resulta ser más bien un proceso aparte que “alimenta” al mismo proceso de cambio. Esto debido a que el planeador de producción tiene “congelado” el plan de producción en 4 días, y por consiguiente se tiene una visibilidad certera para preparar los materiales por parte del almacén, de tal manera que hace sentido no considerar la preparación de materiales dentro del alcance de este proyecto a priori.

Siguientes actividades acordadas por el grupo:

- Hacer el mapeo de procesos nuevamente de acuerdo al nuevo alcance definido por el grupo.
- Juntas locales de avance semanalmente.

### **10.3 Fase 2. Medición**

Con la definición del alcance del proyecto, en sí el proceso de cambio de modelo abarca las siguientes etapas

- a. Preparación de línea
- b. Ajustes e inicio de producción:
  - en SMT
  - en PTH
  - en Prueba eléctrica

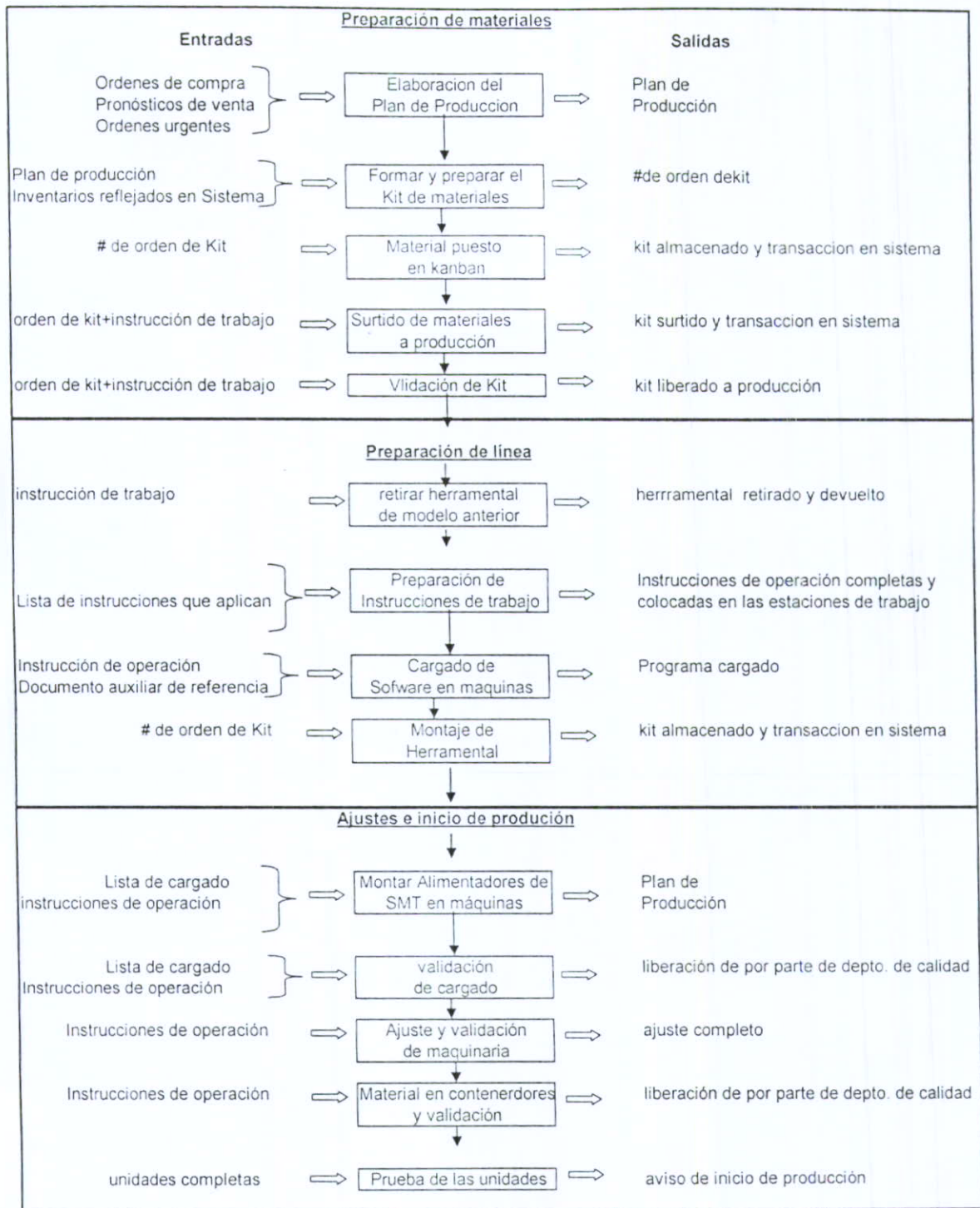


Fig. 10.2 Mapeo del proceso de cambio de SMT

Ahora bien, las etapas antes mencionadas no son seriadas, es decir no es necesario terminar una etapa para comenzar con la siguiente, de tal manera que si se plasmaran las actividades del proceso de cambio en el tiempo quedarían de la siguiente manera:

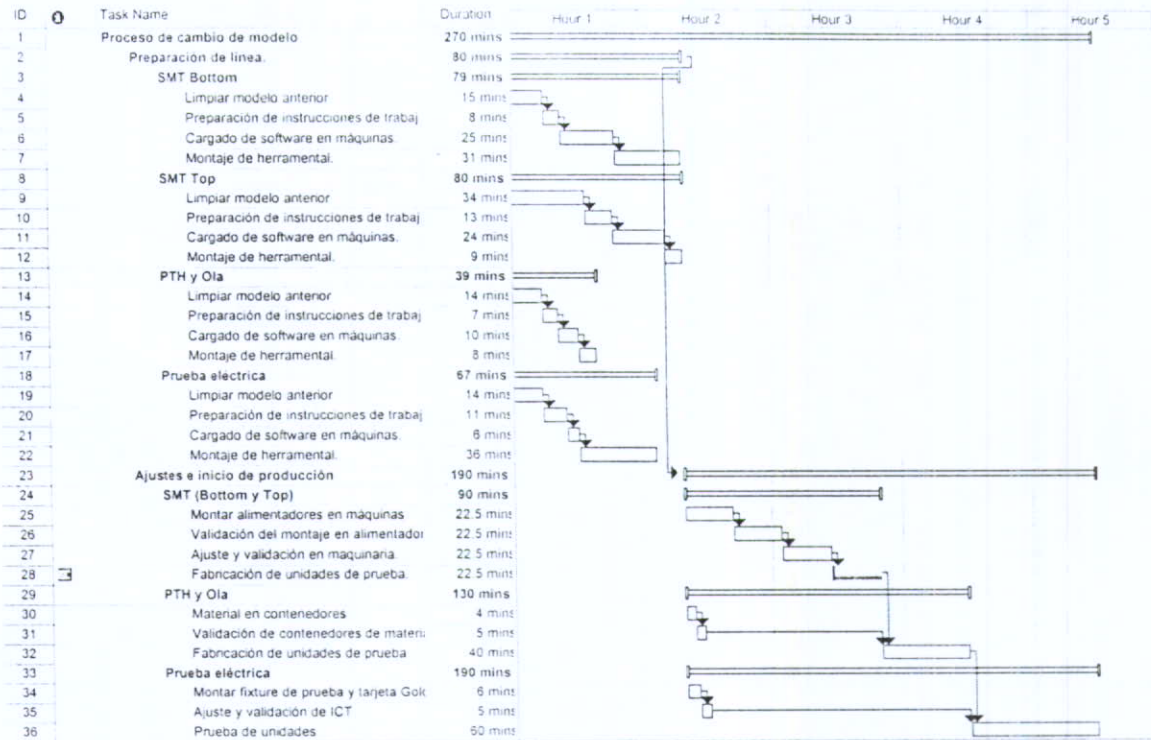


Fig. 10.3 Actividades del proceso de cambio y su secuencia en tiempo

Podemos observar que en la preparación de línea todas las actividades son realizadas en paralelo ya que diferentes personas realizan las actividades. No es así en el caso de ajustes e inicio de producción ya que algunas actividades son hasta cierto punto dependientes de otras. Observemos en la figura 10.3 que los ajustes de SMT se toman como una entidad (no está dividida en SMT Top y SMT Bottom), y esto debido a dos sencillas razones: el inicio de producción tiene como fin fabricar unidades de prueba y fabricarlas por el proceso de SMT puede en ocasiones incluir solo top o sólo bottom dependiendo del tipo de ensamble; la otra razón es que una persona (el técnico de SMT) es el responsable de este proceso en dicha área.

Para establecer una medición más detallada, se diseñó un formato de toma de tiempos e incidencias basado y fundamentado en este nuevo mapeo (vea fig. 10.5), en los que el *Ingeniero Industrial* del equipo seis sigma llenaría todos los campos. Se tomaron nuevamente 30 muestras, es decir 30 procesos de cambio de modelo con el fin de obtener un promedio de tiempos. Estas muestras fueron nuevamente aleatorias en cuanto a turno en el que fueron efectuadas. El formato tiene dos fines: captura de tiempos y captura de incidencias importantes que, de acuerdo al experto en cada proceso (muchas veces el mismo operador de la máquina) le están retrasando su actividad relacionada con el proceso de cambio. Se contempla en el formato quién de los supervisores de producción inicia el cambio y quién lo termina en caso de que el cambio de modelo abarque el cambio de turno de producción.

Estos promedios de tiempos serían tomados como punto de partida para el análisis más detallado y contemplado en la fase 3 de DMAIC.

Recalamos nuevamente que el formato es llenado por el Ingeniero Industrial, aunque es evidente que las actividades descritas en el formato son realizadas por distintas personas.

Siguientes actividades acordadas por el grupo:

- Realizar las 30 muestras para obtener información más a detalle de las incidencias
- Explicar a todo el grupo la importancia del correcto llenado del nuevo formato de toma de tiempos diseñado. Desplegar esta información en los operarios de producción de los tres turnos
- Proseguir con las juntas locales de avance semanalmente

#### **10.4 Fase 3. Analizar**

La fase tres consiste ahora en analizar cada subproceso en cuanto a duración en tiempo de manera más detallada. Vaciando el promedio de las 30 muestras observamos la tabla de la Fig. 10.4.

Actividad	Duracion (Minutos)			
	SMT Botom	SMT Top	PTH y Ola	Prueba electrica
Limpiar modelo anterior (retirar tooling e instrucciones de trabajo)	15	34	14	14
Preparación de Instrucciones de Trabajo	8	13	7	11
Cargado de Software en máquinas	25	24	10	6
Montaje de herramental	31	9	8	36
<b>Total (Minutos)</b>	<b>79</b>	<b>80</b>	<b>39</b>	<b>67</b>

*Fig. 10.4 Análisis de tiempos promedio de la preparación de línea.*

Se toma el tiempo más largo de esta etapa, el cual es de 80 minutos correspondiente a SMT Top (como referencia observe la figura 10.3 para determinar el porqué se toma la etapa más larga):

**Resultado promedio de etapa de preparación de línea : 80 minutos**

Para las siguientes etapas, ajustes e inicio de producción, en la medición del estado actual se utilizó el mismo método, es decir tomar tiempos de treinta cambios de modelo utilizando el mismo formato. La Fig. 10.6 muestra la situación actual del proceso tanto de SMT, PTH y Prueba de electricidad así como la duración en minutos.

HOJA DE TOMA DE TIEMPOS DE CAMBIOS DE MODELO			Fecha: _____
			Modelo: _____
			Turno: _____
Supervisor inicia cambio: _____		Supervisor termina cambio: _____	
Modelo Anterior: _____	Hora Paro línea: ICT: _____	Tiempo total del cambio _____	
Actividad	Inicio	Fin	Problemas (Puede tambien Utilizar seccion de comentarios)
<b>Preparacion de linea SMT</b>			
Limpieza modelo anterior			
Preparación de Instrucciones de trabajo			
Cargado de Software			
Montaje de Herramental			
<b>Preparacion de linea PTH</b>			
Limpieza modelo anterior			
Preparación de Instrucciones de trabajo			
Cargado de Software			
Montaje de Herramental			
<b>Preparacion de linea pruebas</b>			
Limpieza modelo anterior			
Preparación de Instrucciones de trabajo			
Cargado de Software			
Montaje de Herramental			
<b>Area SMT Bottom</b>			
Montar Alimentadores			(1)
validacion del montaje			(1)
Fabricar unidades de prueba			
Ajuste y validación de maquinaria			
<b>Area: SMT Top</b>			
Montar Alimentadores			(1)
validacion del montaje			(1)
Fabricar unidades de prueba			
Ajuste y validación de maquinaria			
<b>Area: PTH / OLA</b>			
Poner Mat. En contenedores			(1)
Validacion de contenedores			
Fabricar unidades de prueba			
<b>Area: Pruebas ICT</b>			
Montaje de Fixture y golden			
Ajuste y validación de ICT			
Prueba de unidades			
(1): Incluye liberacion de calidad.			
<b>Comentarios</b>			
Descripcion de Problema/Incidencia	Area/actividad	Responsable	Tiempo de solución

Fig.10.5 Formato de toma de tiempos e incidencias en el cambio de modelo

	SMT	PTH y Ola	Prueba eléctrica
Actividades	Montar Alimentadores de SMT en máquinas	Material en contenedores	Montar Fixture de prueba y golden
	Validación del montaje en alimentadores	Validación de contenedores de material	Ajuste y validación de ICT
	Ajuste y validación de maquinaria	Fabricación de unidades de prueba	Prueba de Unidades
	Fabricación de Unidades de Prueba		
<b>Total minutos ---&gt;</b>	90	40(49*)	60(71**)

*Fig. 10.6 Análisis de tiempos promedio de la etapa ajustes e inicio de producción.*

En el caso del área de PTH y ola, el tiempo total de todas las actividades resultó de 49 minutos, pero el tiempo real que afectó el proceso de cambio fueron 40 minutos ya que el colocar material en contenedores y su respectiva validación son actividades realizadas en paralelo y por tanto no afectaron ni contribuyeron con fracción de tiempo algunas actividades (ya realizadas de manera externa de acuerdo a la terminología SMED). Mismo caso en prueba eléctrica en donde el montar el fixture de prueba y la unidad golden es también una actividad externa. Por lo tanto la duración promedio del cambio es la suma de los tiempos de las cuatro etapas, es decir  $80 + 90 + 40 + 60$  minutos equivalentes a un total de 4 horas con treinta minutos como total de tiempo de cambio de modelo, lo cual concuerda con los datos mostrados en la Fig. 10.1 y que por supuesto están muy lejos de la meta de 1 hora para el tiempo total de cambio. Definitivamente existe una gran oportunidad de mejora. Ahora bien, al continuar vaciando la información del formato 10.5 donde fueron registrados los factores que influyeron en las demoras obtenemos la siguiente tabla y los siguientes diagramas de pareto:

Area	Causa Asignable	No. De incidencias	% de aportacion
Preparacion de Linea	No se encontró herramental	9	69%
	Herramental dañado	4	31%
SMT	Alimentadores con incorrecto ajuste o calibración	25	36%
	Software de SMT con libreria incorrecta o mal definida	19	27%
	Kit de materiales incompleto	10	14%
	Alimentadores de SMT incompletos	8	11%
	Retraso en ajuste de impresora de pasta	8	11%
PTH y Ola	Preforme de material para PTH incorrecto	1	100%
Prueba eléctrica	Prueba de ICT con problemas en fixture	9	100%

Fig. 10.7 Tabla de incidencias que retrasaron el cambio de modelo (resultado del análisis de 30 cambios)

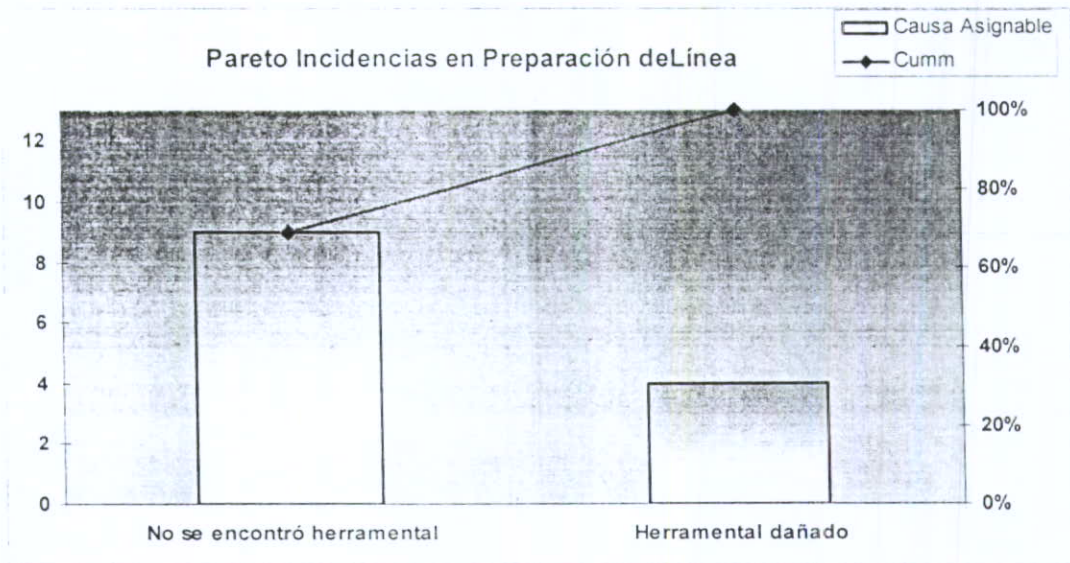
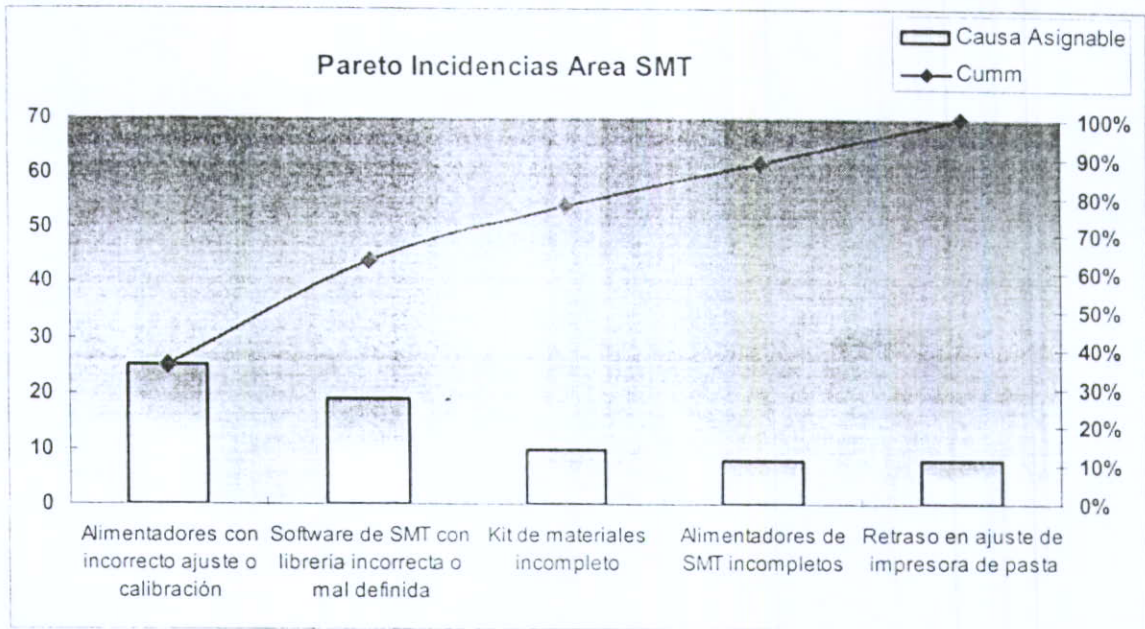


Fig. 10.8 Pareto de incidencias de preparación de línea



*Fig. 10.9 Pareto de incidencias área SMT*

Para el caso de los ajustes de PTH y ola, siempre fue consistente un solo factor que contribuyó a las demoras en el cambio: preforme de material incorrecto. De la misma manera en los ajustes e inicio de producción en las pruebas eléctricas el fixture en mal estado siempre fue el problema.

Para encontrar causa (s) raíz en preparación de línea y ajustes de SMT se siguió la metodología de 5 por qué, los cuales se muestran a continuación.

61944

Cinco Por qué	
1. El herramental no se encontró	⇒ 1. ¿Por qué no se encontró el herramental?
2. Porque el área donde están está desordenada	⇒ 2. ¿Por qué está muy desordenada? del kit?
3. Porque el área de almacenamiento de herramental es muy pequeña	⇒ 3. ¿Por qué el área es insuficiente?
4. Porque se designó un área temporal sin calcular el total del herramental a necesitar	⇒ 4. ¿Por qué no se tiene área definitiva y calculada de espacio para el herramental?
5. Porque Ing. Industrial no ha realizado un estudio y propuesta(s) para el área definitiva de herramental considerando todas las necesidades	

Cinco Por qué	
1. Herramental dañado.	⇒ 1. ¿Por qué se dañó el herramental?
2. Porque el área donde están está desordenada y en la devolución no se almacena bien el herramental	⇒ 2. ¿Por qué está muy desordenada? ¿Por qué no se almacena bien?
3. Porque el área de almacenamiento de herramental es muy pequeña	⇒ 3. ¿Por qué el área es insuficiente?
4. Porque se designó un área temporal sin calcular el total del herramental a necesitar	⇒ 4. ¿Por qué no se tiene área definitiva y calculada de espacio para el herramental?
5. Porque Ing. Industrial no ha realizado un estudio y propuesta(s) para el área definitiva de herramental considerando todas las necesidades	

Cinco Por qué	
1. Los alimentadores por incorrecto ajuste o calibración	⇒ 1. ¿Por qué estuvieron mal ajustados?
2. Porque el técnico de SMT no utilizó de manera adecuada la mesa de calibración	⇒ 2. ¿Por qué no utilizó adecuadamente la mesa de calibración?
3. Porque el área y flujo de alimentadores de SMT está hecha un desastre	⇒ 3. ¿Por qué área y flujo son un desastre?
4. Porque el área es insuficiente y carece de mesas	⇒ 4. ¿Por qué el área es insuficiente y carece de mesas?
5. Porque el área tiene que reubicarse y no se ha realizado un estudio de necesidades reales del área	

Cinco Por qué	
1. El kit de material estuvo incompleto.	⇒ 1. ¿Por qué estuvo incompleto el kit?
2. Porque el almacén comenzó tarde la preparación del mismo	⇒ 2. ¿Por qué comenzó tarde la preparación del kit?
3. Porque hubo desorden y confusión al preparar varios kit.	⇒ 3. ¿Por qué hubo desorden y confusión?
4. Porque no se pide con anticipación predeterminada el kit de materiales	⇒ 4. ¿Por qué no se pide con anticipación el kit materiales?
5. Porque el almacen no ha de finido con que horas de anticipación se debe ordenar un kit para alcanzar a prepararlo	

Cinco Por qué	
1. El kit de material estuvo incompleto.	⇒ 1. ¿Por qué estuvo incompleto el kit?
2. Porque el técnico de SMT devolvió el kit	⇒ 2. ¿Por qué el técnico de SMT devolvió el del kit?
3. Porque el empaque o presentación de algunos materiales estaban distintos a lo especificado en la lista de cargado	⇒ 3. ¿Por qué estaban distintos?
4. Porque lista de cargado y hoja de solicitud de kit no coinciden	⇒ 4. ¿Por qué no coinciden?
5. Porque la solicitud de kit de materiales no incluye el tipo de empaque especificado en la lista de cargado.	

Cinco Por qué	
1. El kit de material estuvo incompleto.	⇒ 1. ¿Por qué estuvo incompleto el kit?
2. Porque el técnico de SMT devolvió el kit	⇒ 2. ¿Por qué el técnico de SMT devolvió el del kit?
3. Porque el material no estaba preformado	⇒ 3. ¿Por qué no estaba preformado?
4. Porque el kit no indicaba que el material fuese preformado	⇒ 4. ¿Por qué la solicitud de kit no incluyó el material de preforme?
5. Porque ingeniería de procesos no ha indicado a planeación los materiales que necesitan preforme	

1. Preforme para material de PTH incorrecto	⇒ 1. ¿Por qué estuvo el preforme incorrecto?	↻
2. Porque se equivocaron al preformar el material	⇒ 2. ¿Por qué se equivocaron?	↻
3. Porque la instrucción de trabajo no es clara y se presta a confusiones	⇒ 3. ¿Por qué no es clara?	↻
4. Porque no contiene fotografías de ayuda y falta entrenar a la gente	⇒ 4. ¿Por qué no tienen fotografías de ayuda las instrucciones de trabajo y la gente no está entrenada?	↻
5. Porque se liberaron las instrucciones sin fotografías auxiliares y sin entrenar a la gente de preforme.		↻

Por otra parte, en el caso de las demoras en el área de prueba eléctrica, el principal problema al validar las unidades de prueba durante el cambio de modelo es debido a que los fixtures de prueba no se encuentran en buenas condiciones, para lo cual es necesario verificar su buen funcionamiento de manera anticipada al requerimiento de producción.

Hablando en términos de SMED, esta validación del sistema de prueba es una actividad interna que tiene que moverse a externa para agilizar el proceso de cambio. El método sugerido para validar y certificar que un sistema de medición y/o prueba se encuentra en óptimas condiciones es a través de un método o estudio de repetibilidad y reproducibilidad llamado GR&R (gage R and R –explicado en capítulo previo). Cada uno de los fixtures de prueba fue sujeto a dicho estudio y los resultados y comentarios detallados respecto a lo que se encontró durante el estudio fue capturado en un archivo de hoja de cálculo (un extracto del mismo se observa en la tabla mostrada en la figura 10.10)

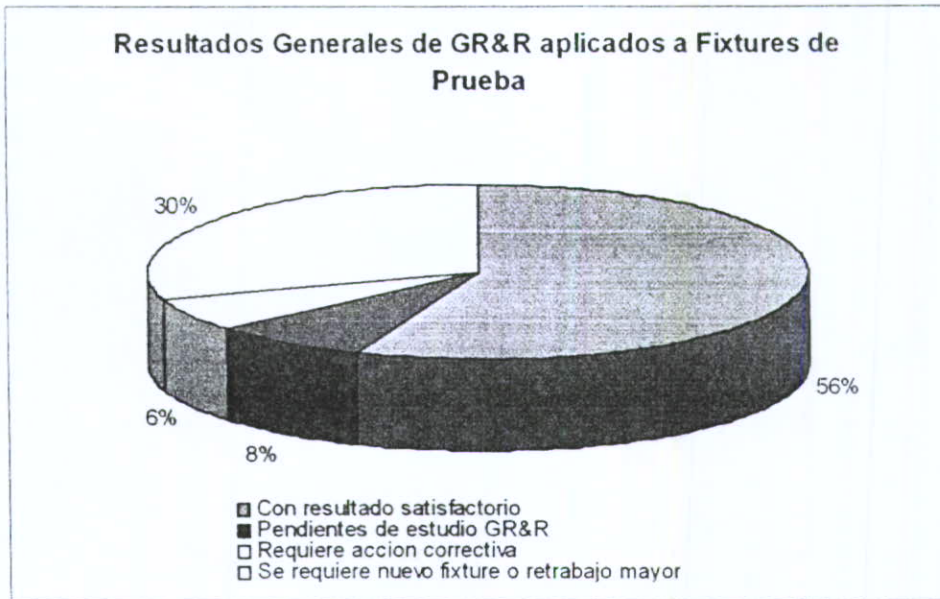
A algunos fixtures se le tuvo que efectuar una reparación menor tales como corregirles alguna tapa, empaque etc. y se les volvió a aplicar el estudio. A otros fixtures fue imposible aplicarles el estudio por falta de *unidades golden*. Del resultado general de la tabla 10.10 se obtuvo la figura 10.11, la cual se resume en que:

- 56% de los fixtures está en óptimas condiciones y están listos para trabajar.

- 30% de los fixtures requiere un retrabado o reparación mayor (es decir enviar con un proveedor externo).
- 8% No se les pudo realizar estudio de GR&R por carecer de unidades golden.
- 6% requiere una acción correctiva interna y se está a la espera de alguna refacción ya ordenada.

ID	%GR&R	Estado despues de las acciones	ACCIONES REALIZADAS
XFIX-044	1%	OK	TODO OK
XFIX-047	20%	OK	1 TESTJET FALTA, CORONA REDUCIDA./ EMPAQUE O.K
XFIX-049	40%	OK	EMPAQUE Y SEGUROS DE TAPA DANADOS.
XFIX-073	70%	OK	EMPAQUE Y SEGUROS DE TAPA DANADOS.
XFIX-076	10%	OK	O.K
XFIX-090	1%	OK	FALTA DE 2 RESORTES. SOLO SE REPUSIERON 1 FINGER DANADO , 2 SEGUROS DE LA TAPA DAÑADOS.
XFIX-155	90%	OK	FIXTURA COMPLETA O.K PLACA IZQUIRDA DEL PISTON Y EMPAQUE DAÑADOS.
XFIX-172	60%	OK	SOLO CAMBIAR EMPAQUE DE VACIO
XFIX-174	2%	OK	PINES NORMALES, FIXTURA COMPLETA O.K
XFIX-188	2%	OK	O.K
XFIX-192	9%	OK	SP O.K, CORONA REDUCIDA.
XFIX-196	1%	OK	O.K. SE ENTRENO AL OPERADOR
XFIX-199	28%	OK	PROBLEMA CON LA TAPA NUNCA FUNCIONA LAS 8 CELDAS / FALLA EN DIGITALES.
XFIX-206	45%	OK	4 WSITCH, PROBE SIN CAPUCHON, CORONA REDUCIDA.
XFIX-208	40%	OK	T O.K
XFIX-210	1%	OK	O.K
XFIX-214	10%	OK	SEGUROS DE TAPA DANADOS.
XFIX-218	60%	OK	O.K
XFIX-219	1%	OK	

Fig. 10.10 Extracto de la hoja de cálculo que muestra los resultados de GR&R aplicado fixtures de prueba



*Fig. 10.11 Resultados de GR&R aplicado fixtures de prueba*

El primer paso de la implementación de mejoras es sentar las bases para un modelo de manufactura para alta mezcla y bajo volumen como se estableció en el capítulo y combinarlo con las reglas básicas del SMED.

Siguientes actividades a realizar:

- Junta para determinar el área y equipo de almacenamiento para soportar las necesidades del proyecto en cuanto al almacén de herramental. (Cabe resaltar la importancia de las 5 s una vez establecida el área de manejo de herramental, por lo que se debe asegurar que el personal que la opere reciba su certificación en 5 s – programa de certificación interna)
- Asignar 2 personas por turno responsables de la preparación de línea de producción. Estas personas serán responsables de solicitar tanto herramental como instrucciones de trabajo para todos los subproceso de la línea de SMT. Sin un personal responsable el

proceso de traer lo anterior se hace demasiado tardado y pone en riesgo la meta del tiempo de cambio. Es una actividad asignada al Supervisor de Producción

En relación a los alimentadores con incorrecto ajuste o calibración, se definieron las siguientes actividades y son otro ejemplo claro de la aplicación de técnicas de SMED y en particular de la primera y segunda fase, ya que la calibración, ajuste y montado de alimentadores en las máquinas de SMT forman parte de una serie de actividades internas que pueden y tienen que convertirse en actividades externas con el fin de agilizar el cambio:

- Definir un área para la preparación del cargado de alimentadores. Dicha área debe de tener capacidad de manejar dos cambios de modelo simultáneamente. Actividad asignada a Ingeniero Industrial y al Técnico de SMT.
- Hacer un listado de alimentadores de SMT necesarios para soportar las actividades de producción y comparar con el inventario actual con el fin de solicitar y requerir los necesarios. Recordemos que hubo ocho incidencias de alimentadores incompletos (Fig. 10.9).
- Definir y documentar un procedimiento de manejo, calibración y ajuste de alimentadores de SMT. Actividad a cargo de Ingeniero de mantenimiento de SMT.
- Definir, entrenar y calificar a un grupo de personas dedicado al mantenimiento y ajuste de alimentadores de SMT. Actividad a cargo de Ingeniero de mantenimiento de SMT.
- Crear un manual de entrenamiento para el manejo de alimentadores de SMT dirigido a operadores de producción. Actividad a cargo de Ingeniero de mantenimiento de SMT.
- Validar todas las librerías asignadas a los programas de SMT y verificar su correcta asignación. Actividad a realizar por Programador de máquinas de SMT.
- Validar la reposición o reparación mayor para aquellos fixtures demasiado dañados.
- Definir cuantas horas de anticipación requiere la solicitud de kit de materiales para que esté completo para cuando lo requiere la línea de producción. Actividad a cargo del planeador de materiales.

- Especificar en la solicitud de kit el tipo de empaque que se requiere en cada material de acuerdo a la lista de cargado. Actividad a cargo del ingeniero de programación de máquinas de SMT y del Planeador de producción.
- Indicar a planeación de materiales la lista de todos los materiales que necesitan preforme. Actividad a cargo del Ingeniero de procesos.
- Efectuar mejoras en las instrucciones de proceso y ensamble de tal manera que incluyan ayudas gráficas (fotografías o dibujos) que auxilien al operador a realizar su trabajo correctamente. Actividad a cargo del Ingeniero de procesos.

#### 10.5 Fase 4. Mejorar

De acuerdo a las actividades a realizar definidas anteriormente a continuación se presentan los resultados de las mismas.

Para la definición del área de herramental primero se hizo un censo del mismo, el cual arrojó lo siguiente:

Cantidad	Herramental	Responsable
366	Stencil de impresora de pasta	Ingeniero de procesos
200	Juegos de pallet de soldadora de ola	Ingeniero de procesos
5	Prensas de colocación de conectores y/o remaches	Ingeniero de procesos
200	Fixturas de prueba de ICT	Ingeniero de pruebas

Todos los herramientas con responsabilidad de ingeniería de procesos serán almacenados en el área de mantenimiento de equipos de SMT. Área y anaqueles disponibles. En cuanto a los fixtures de prueba, éstos serán almacenados en un carrusel vertical de almacenamiento a cargo del departamento de ingeniería de pruebas. El carrusel cuenta con espacio disponible. La única actividad extra es de actualizar el inventario del carrusel una vez que se muevan los fixtures de prueba. Una actividad importante que mencionar es que tanto los almacenistas de

mantenimiento de SMT como los almacenistas del departamento de pruebas fueron certificados en 5 S's.

Para la preparación del cargado de alimentadores las necesidades es que dicha área debe de tener capacidad de manejar dos cambios de modelo simultáneamente (desmontado y montado). Los recursos necesarios son:

- Computadora y mesa para hacer transacciones en sistema (9 pies cuadrados).
- Área para devolución del Kit (9 pies cuadrados).
- Área para desmonte de alimentadores y de devolución de los mismos para almacén de mantenimiento (16 pies cuadrados).
- Área para devolver el material desmontado a almacén.
- Área para almacén de alimentadores (16 pies cuadrados).
- Área de separación de material (32 pies cuadrados).
- Área de material para ser procesado para "kiteo" (16 pies cuadrados).
- Área de montaje de alimentadores (9 pies cuadrados).
- Área de auditoria del kit (28 pies cuadrados).
- 5 operadores por turno.

El área quedó rediseñada como se muestra en la figura 10.12.



Fig. 10.12 Área para preparación de alimentadores de SMT ("Kiteo de alimentadores).

El listado de alimentadores requeridos y disponibles arrojó los resultados mostrados en la tabla 10.13. Se genera una requisición de compra para 63 alimentadores de 8 milímetros. Los costos de los mismos se manejan más adelante.

Alimentador	Requeridos	Disponibles	Por Pedir
<b>Màquina MV2F</b>			
8MM	305	242	63
12M	55	56	-1
16M	60	60	0
<b>Màquina G3</b>			
12M	10	10	0
16M	20	20	0
24M	20	21	-1

*Fig. 10.13 Inventario y requerimientos de alimentadores de SMT*

Otras actividades que se completaron por parte del Ingeniero de mantenimiento de SMT fueron

- Se dio de alta un procedimiento de manejo, calibración y ajuste de alimentadores de SMT, que por ser un documento propiedad intelectual de la empresa, no se comparte en este trabajo de tesis.
- Se entrenaron 2 personas por turno dedicadas al mantenimiento y ajuste de alimentadores de SMT.
- Se creó un manual de entrenamiento para el manejo de alimentadores de SMT dirigido a operadores de producción., que por ser un documento propiedad intelectual de la empresa, no se comparte en este trabajo de tesis.
- Se validaron todas las librerías asignadas a los programas de SMT y se verificaron sus correctas asignaciones. El Programador de máquinas de SMT actualizó todos los programas de SMT una vez asignado las librerías correctamente.

En el caso de fixtures de prueba se siguió el plan mostrado en la figura 10.14. Cabe resaltar que estos herramientas al ser propiedad del cliente se pidió la debida autorización para los

retrabajos y/o reparaciones requeridas. Se expuso el impacto de no corregir las deficiencias en el herramental y mixtures para facilitar la toma de decisiones a todas las gerencias involucradas.

En el caso de las actividades de mejora a cargo del Ingeniero de procesos se indicó a planeación de materiales la lista de todos los materiales que necesitan preforme. Con esto los materiales se desvían a preforme para que el kit esté completo con los materiales preformados y no haya demoras por la falta de dicho proceso. Además se corrigieron y/o mejoraron un total de 812 instrucciones de proceso y ensamble incluyéndoles ayudas gráficas (fotografías o dibujos) que auxilian al operador a realizar su trabajo correctamente.

N/P	CONCEPTO	Costo USD	Impacto de no corregirlo	Status
80364	Reemplazo total de pines de prueba	\$ 9,000.00	Bajo yield debido a falsos rechazos. Se estima mejorar el yield entre 3-6% una vez reemplazados los pines de prueba del fixture	Completo
555571				
43934				
48532				
40253				
49984				
71570				
59495				
43980				
49141				
23960				
40580				
73825	Diseñar nuevo fixture	\$ 6,595.00	3 circuitos internos del instrumento ICT dañados mensualmente debido a que el fixture está en malas condiciones aunado al tiempo muerto debido a paros de producción que ocurren cuando estos circuitos internos se necesitan reparar.	Completo
81963/73				
96930	Diseñar nuevo fixture	\$ 6,595.00	El yield actual promedio del 42% cuando la meta es de 90%, ocasiona no cumplimiento de producción.	Completo
43702	Diseñar nuevo fixture	\$ 12,730.00	Bajo yield debido a falsos rechazos. Se estima mejorar el yield entre 3-6% una vez retrabajado	Pendiente autorización del cliente
30431 / 24333	Retrabajo de soportes y base del fixture	\$ 200.00	El yield actual promedio del 48% cuando la meta es de 90%, ocasiona no cumplimiento de producción.	Pendiente autorización del cliente
81421, 24063	Implementar nuevo método de actuación de vacío en el fixture	\$ 2,500.00		

Fig. 10.14 Seguimiento de acciones correctivas a fixtures demasiado dañados

Por otra parte, al tomar como punto de medición del proceso de cambio a la prueba de ICT y al definir como etapas del proceso de cambio las establecidas en el mapeo de procesos de la figura 10.2, quedó fuera de alcance el proceso de preparación del kit de materiales. Esto no significa que el proceso de preparación de kit no pueda afectar al proceso de cambio de modelo ni significa que dicho proceso no tenga oportunidades de mejora. Al contrario, un retraso en el suministro de materiales afectaría todo el proceso de cambio, más aún cuando este cambio ya fue programado por el planeador de producción.

Al reunirse el equipo de trabajo conformado por el supervisor de producción, el técnico de SMT, el planeador de materiales, el supervisor de almacén y el ingeniero de procesos se realizó el método y un análisis de “5 por qué” para determinar la causa raíz en el área de preparación de kit de materiales.

Al llevarlas a un plan de acciones concretas y quienes serían asignados como responsables se obtuvo lo siguiente:

- Requerir el kit de materiales al almacén con 24 horas de anticipación respecto al plan de producción del ensamble, de esta manera se asegura que el kit de materiales se encuentre a tiempo para el cumplimiento del plan de producción. Un tiempo menor a 24 horas pone en riesgo el cumplimiento del requerimiento del kit. Esto es una actividad que coordinan Supervisor de almacén y Planeador de Materiales.
- El requerimiento del kit de materiales debe incluir en que tipo de empaque se necesita surtir el material. La situación de impacto al no incluir esto es de que en el programa de SMT se predefine el tipo de empaque por cada número de parte y al surtir material que no concuerda con el programa de SMT originará retrasos al pedir al almacén nuevo material con el tipo de empaque correcto. En esta actividad trabajan en conjunto Planeador de Materiales e Ingeniero de Procesos.

## 10.6 Otras mejoras. Generación de matriz de procesos y agrupación por familias

Es evidente que reducir el tiempo de cambio de modelo ayuda a utilizar más la línea de producción, pero ¿Por qué no minimizar los cambios también? A menor número de cambios mayor será la utilización de la línea y por consiguiente mayor ganancia para la compañía.

Como se vio en el capítulo II. Creación de un ambiente y modelos de Manufactura para bajo volumen y variedad de Productos, para trabajar en un ambiente como tal, es necesario agrupar los productos por familia.

Se generó la matriz de procesos de los productos en cuestión. Cabe mencionar que para la generación de dicha matriz de proceso fue necesaria la participación conjunta de todo el departamento de Ingeniería (Industrial, Procesos, Calidad, Pruebas, Producto). Las Fig. 10.15 y 10.16 muestran esta matriz.

NUMERO DE PARTE	SMT		INSERCIÓN AUTOMÁTICA				OLA	PRUEBA DE PROCESO			
	BOTTOM	TOP	PIN	DIP	AXIAL	RADIAL	PTH/OLA	Genrad ICT	HP ICT	ZEHNTTEL ICT	TERADYNE ICT
3833							X			X	
30431	X	X					X		X		
23060				X	X	X	X			X	
22341				X	X	X	X				
24333	X	X					X		X		
88870	X	X							X		
80361	X	X					X		X		
81184	X	X					X		X		
79304		X					X		X		
79680		X					X		X		
80301	X	X	X				X		X		
78932	X	X					X		X		
49141	X	X					X		X		
89160	X	X	X				X		X		
81931	X	X					X		X		
79591	X	X					X		X		
79671	X	X					X		X		
49983	X	X	X				X		X		
65782		X					X		X		
41390	X			X		X	X				X
54390	X			X		X	X				X
80280		X					X				X
60090	X	X		X	X	X	X	X			
55571	X	X		X		X	X	X			
8793	X				X		X				
24759	X	X					X				
25105	X	X		X		X	X				
44632	X	X			X		X				
50363					X	X	X	X			
65519	X	X		X	X	X	X				
80950		X			X	X	X	X			
49472		X					X		X		
40751	X	X					X			X	
40580		X					X		X		
24385	X	X					X		X		
49621	X	X					X			X	
17331			X	X	X	X	X			X	
37361	X			X	X	X	X		X		
24010			X	X	X	X	X			X	
24000	X		X	X	X	X	X			X	
55590	X	X					X		X		
65792		X					X		X		
23960	X		X	X	X	X	X			X	
27425	X	X					X		X		
43891		X					X		X		
35071		X					X			X	
43980	X	X					X		X		
60362	X			X	X		X		X		
23970		X	X				X			X	
22008	X	X			X		X		X		
63800		X					X				

Fig.10.15 Matriz de procesos parte I

NUMERO DE PARTE	SMT		INSERCIÓN AUTOMÁTICA				OLA	PRUEBA DE PROCESO			
	BOTTOM	TOP	PIN	DIP	AXIAL	RADIAL	PTH/OLA	Genrad ICT	HP ICT	ZEHNTL ICT	TERADYNE ICT
7873		X		X			X		X		
88630	X	X							X		
45936	X	X					X		X		
54452	X	X					X		X		
81434	X	X							X		
89110		X					X		X		
71212		X					X		X		
11262			X	X	X		X		X		
7391	X			X			X				
23990	X		X	X	X	X	X			X	
73190		X					X		X		
67190		X					X		X		
43701	X	X					X		X		
88620	X	X							X		
54390	X	X					X		X		
24063	X	X					X		X		
23541		X					X		X		
71570	X	X					X		X		
56972		X					X		X		
65803	X	X					X		X		
61705	X	X					X		X		
24130	X			X		X	X			X	
48532				X	X	X	X		X		
48856	X	X					X		X		
81962	X	X							X		
81972	X	X							X		
25590				X			X				
40253	X	X				X	X		X		
56075		X					X		X		
8352			X	X	X		X				X
6771			X	X	X	X	X			X	
32264		X			X	X	X				
28310			X	X	X	X	X		X		
40269	X	X					X		X		
43934	X	X					X		X		
63173	X	X					X		X		
13850	X	X					X		X		
71400		X					X				
55342	X	X		X	X		X		X		
15485			X	X	X	X	X				
13860	X	X					X		X		
42253				X	X	X	X				
58710				X		X	X		X		
61141	X			X	X		X		X		
14231		X		X	X	X	X		X		
11320				X	X		X		X		
47832				X	X	X	X				
63712				X	X	X	X		X		
63713				X	X	X	X		X		
61622				X		X	X				
63724	X	X		X			X		X		
32012				X	X	X	X			X	
33791				X		X	X		X		

Fig.10.16 Matriz de Procesos parte II

FAMILIA 1 Modelos Con mínimas diferencias (Menos de 5 números de parte)											
NUMERO DE PARTE	BOTTOM	TOP	PIN	DIP	AXIAL	RADIAL	PTH/OLA	Genrad ICT	HP ICT	ZEHNTL ICT	TERADYNE ICT
63712				X	X	X	X		X		
63713				X	X	X	X		X		
81962	X	X							X		
81972	X	X							X		
41390	X			X		X	X				X
54390	X			X		X	X				X
88630	X	X							X		
88620	X	X							X		
43934	X	X					X		X		
63173	X	X					X		X		
23960	X		X	X	X	X	X			X	
23990	X		X	X	X	X	X			X	

Fig. 10.17. Familia 1. Modelos con mínimas diferencias (Menos de 5 números de parte)

FAMILIA 2 Modelos que no usan Maquinaria de SMT												
NUMERO DE PARTE	BOTTOM	TOP	PIN	DIP	AXIAL	RADIAL	PTH/OLA	Genrad ICT	HP ICT	ZEHNTel ICT	TERADYNE ICT	
3833							X			X		
23060				X	X	X	X			X		
22341				X	X	X	X					
50363					X	X	X					
17331			X	X	X	X	X	X				
24010			X	X	X	X	X			X		
11262			X	X	X	X	X					
48532				X	X	X	X		X			
25530				X					X			
8252			X	X	X		X				X	
6771			X	X	X	X	X			X		
28310			X	X	X	X	X		X			
15465			X	X	X	X	X					
42253				X	X	X	X					
56710				X		X	X		X			
11320				X	X		X		X			
47832				X	X	X	X					
63712				X	X	X	X		X			
63713				X	X	X	X		X			
61622				X		X	X					
32012				X	X	X	X			X		
33791				X		X	X		X			

Fig.10.18. Familia 2 Modelos que no usan Maquinaria de SMT.

FAMILIA 3 Modelos con componentes en un solo lado - área bottom (solo utilizan maquinaria de SMT lado bottom)												
41390	X			X		X	X				X	
54390	X			X		X	X				X	
8793	X				X		X					
37361	X			X	X	X	X		X			
24000	X		X	X	X	X	X			X		
23960	X		X	X	X	X	X			X		
60362	X			X	X		X		X			
7391	X			X			X					
23990	X		X	X	X	X	X			X		
24130	X			X		X	X			X		
61141	X			X	X		X		X			

Fig. 10.19. Familia 3. Modelos con componentes en un solo lado - área bottom (solo utilizan maquinaria de SMT lado abajo -Bottom Side)

FAMILIA 4 Modelos con componentes en un solo lado - área top (solo utilizan maquinaria de SMT lado top)												
79304		X					X		X			
79680		X					X		X			
65782		X					X		X			
80280		X					X				X	
80950		X				X	X	X				
49472		X				X	X	X				
40580		X					X		X			
65792		X					X		X			
43891		X					X		X			
35071		X					X			X		
23970		X	X				X			X		
63800		X					X					
7873		X			X		X		X			
69110		X					X		X			
71212		X					X		X			
73190		X					X		X			
67190		X					X		X			
23541		X					X		X			
56972		X					X		X			
56075		X					X		X			
32264		X				X	X					
71400		X					X					
14231		X		X	X	X	X		X			

Fig. 10.20. Familia 4. Modelos con componentes en un solo lado - área top (solo utilizan maquinaria de SMT lado arriba -top side)

La información de la agrupación por familias es de vital importancia para el planeador de producción. Exponer qué tan comunes son algunos ensambles y estratificarlos por complejidad (un lado y dos lados). Genera varias ventajas:

- Disminución de total de cambios de modelo. Al agrupar por familias existen modelos muy comunes que sus diferencias son mínimas como lo puede ser la programación de cierta memoria de manera diferente.
- Disminución en el tiempo de cambio de modelo. Igual que el punto anterior la similitud entre productos y su programación de producción ligada disminuye el tiempo de cambio de modelo.
- Disminución en tiempo de surtido de material ya que existen familias de productos agrupadas por proceso, lo que agiliza y simplifica su surtido.
- Disminución en tiempos de retorno de material. Igual que el punto anterior la agrupación de productos por su proceso y su respectiva programación de producción ligada agiliza y simplifica el retorno del material sobrante al almacén.

### **10.7 Fase 5. Controlar**

El principal método de control es sistematizar todas las actividades de mejora, es decir incluirlas en procedimientos oficiales dentro del sistema de calidad de la empresa., de este modo se estandarizan métodos de trabajo y se utilizan formatos oficiales de registro y de control de actividades.

Los documentos y manuales que quedaron registrados en el sistema de calidad se muestran en la figura 10.21

Área	Procedimientos y actividades	Documento	
Manufactura	Procedimiento de cambio de modelo	D-MAN 15	
Planeacion	Orden de cambio de modelo (kit list)	D-MAN 15-01	
Almacen	Hoja viajera de preparación de kit	D -MAN-15-02	
Kits	Reporte de materiales en corto de kiteo	D -MAN-15-05	
Manufactura	Checklist de cambio de modelo	D -MAN-15-03	
Manufactura	Registro de tiempo de cambio de modelo	D -MAN-15-04	
Kits	Control de retorno de kit	D -MAN-15-06	
Mantenimiento	Procedimiento de calibración de alimentadores	DX-MAN-01	
Kits & Mfg	Entrenamiento y certificación en manejo de alimentadores	DX-MAN-01	

*Fig. 10.21 Documentos y procedimientos generados para formalizar métodos*

Lo anterior acompañado de un sistema 5s (descrito y explicado en capítulo previo) que ayuda de manera sustancial al orden y limpieza de las líneas de producción. (Ver capítulo 3. Metodología 5s) arrojó resultados excelentes, disminuyendo el tiempo promedio de cambio a 1.11 horas, los cuales se pueden ver en la tabla de la fig. 10.23 que muestra mediciones efectuadas a fechas posteriores a la medición del estado actual (Tabla de la fig. 10.1).

## 10.8 Resultados

El resultado de la aplicación de la metodología dio como fruto reducir el tiempo promedio de cambio de modelo a 1 hora.

Fecha	Línea	Model	Tiempo de cambio	Promedio	Fecha	Línea	Model	Tiempo de cambio	Promedio
28-Mar	11	55571	0:30	1:17	14-Apr	11	45936	0:13	0:53
29-Mar	11	40253	1:50	1:17	14-Apr	11	59495	3:40	0:53
28-Mar	11	40580	1:55	1:17	19-Apr	10	55571	0:55	0:53
29-Mar	11	71570	3:30	1:17	19-Apr	11	61705	0:15	0:53
29-Mar	11	63173	1:30	1:17	19-Apr	11	71213	0:20	0:53
29-Mar	10	81973	2:45	1:17	19-Apr	11	88870	0:12	0:53
30-Mar	11	45936	3:30	1:17	19-Apr	10	47832	0:20	0:53
30-Mar	10	37361	0:30	1:17	19-Apr	10	65792	0:20	0:53
30-Mar	11	63173	0:30	1:17	20-Apr	11	11420	0:40	0:53
2-Apr	11	30431	0:38	1:17	20-Apr	10	81973	0:15	0:53
2-Apr	10	64742	0:35	1:17	21-Apr	11	53982	2:15	0:53
2-Apr	10	73630	1:15	1:17	21-Apr	10	81940	0:00	0:53
2-Apr	11	67190	0:38	1:17	22-Apr	11	96930	0:45	0:53
2-Apr	10	49943	3:30	1:17	22-Apr	10	54390	0:20	0:53
2-Apr	10	89110	0:45	1:17	22-Apr	10	13860	0:35	0:53
1-Apr	11	80280	0:20	1:17	23-Apr	11	49141	1:25	0:53
2-Apr	11	80762	0:22	1:17	24-Apr	11	55591	0:40	1:12
5-Apr	11	40269	2:48	1:05	24-Apr	11	28310	1:45	1:12
6-Apr	10	7873	0:02	1:05	24-Apr	11	64756	1:10	1:12
6-Apr	11	11420	0:00	1:05	27-Apr	11	64742	2:15	1:12
7-Apr	10	54452	1:55	1:05	27-Apr	10	80280	0:50	1:12
6-Apr	9	54390	0:40	1:05	24-Apr	11	54452	1:35	1:12
11-Apr	11	79680	2:25	1:03	30-Apr	10	7873	0:00	1:12
11-Apr	11	63800	0:00	1:03	30-Apr	10	96930	1:35	1:12
11-Apr	11	71213	0:40	1:03	29-Apr	11	79591	2:40	1:12
11-Apr	11	23541	0:55	1:03					
12-Apr	11	80301	0:25	1:03					
13-Apr	11	40253	1:00	1:03					
14-Apr	11	43702	1:30	1:03					
14-Apr	10	96790	0:30	1:03					
15-Apr	11	40580	0:10	1:03					
15-Apr	10	96790	1:50	1:03					
15-Apr	10	49472	3:35	1:03					
16-Apr	10	64741	0:45	1:03					
16-Apr	11	81421	0:59	1:03					

Fig. 10.23 Resultados obtenidos al aplicar la metodología y sus acciones de mejora

La siguiente gráfica muestra la tendencia de tiempos promedio a través de las semanas que se trabajaron en las acciones de mejora.

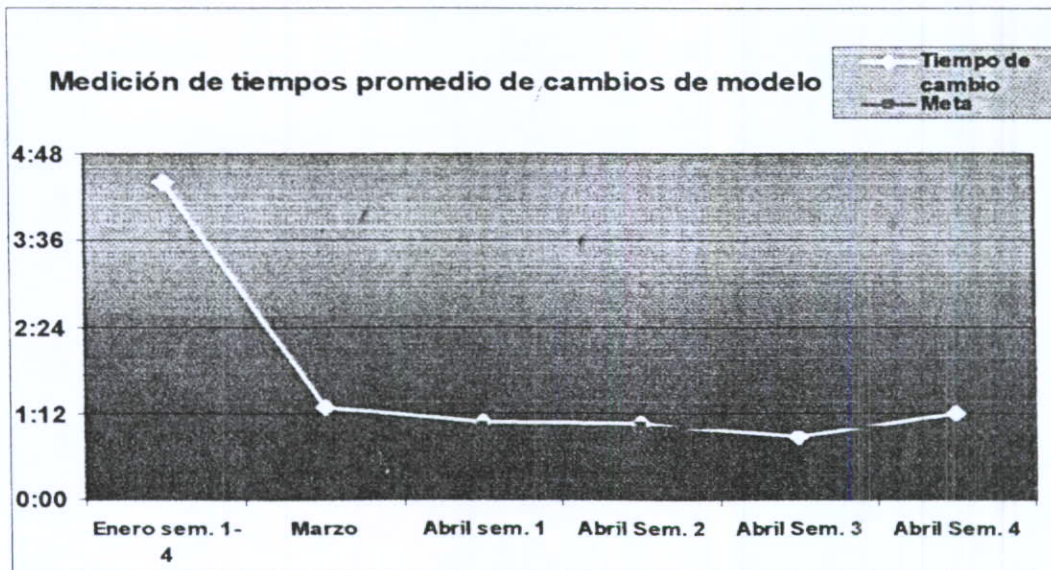


Fig. 10.24 Tendencia de tiempos promedio a través del tiempo

## 10.9 Costos de Implementación

Los costos de implementación fueron de cerca de cien mil dólares anualizados y pueden verse detalladamente en la siguiente tabla

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN			
	Costo (USD)	Frecuencia	Total Anualizado
Alimentadores de SMT	\$ 54,000.00	gasto único	\$ 54,000.00
Reparaciones en fixtures de prueba	\$ 15,562.50	gasto único	\$ 15,562.50
Área de pre-cargado de alimentadores			
Mesas de trabajo/sillas	\$ 1,500.00	gasto único	\$ 1,500.00
Computadora	\$ 1,500.00	gasto único	\$ 1,500.00
Anaqueles	\$ 100.00	gasto único	\$ 100.00
Personal fijo que se añadió			
10 Operadores de área de precargado de alimentadores de SMT	\$ 2,250.00	mensual	\$ 27,000.00
2 Operadores asignados a preparación de línea	\$ 750.00	mensual	\$ 9,000.00
<b>Total Anualizado :</b>			<b>\$ 108,662.50</b>

*Fig. 10.25 Costos de implementación*

## 10.10 Beneficios de la Implementación de la metodología

Ahora bien, primeramente veamos en que periodo en el tiempo estos \$108,000 dólares son recuperados a través de la implementación de las acciones de mejora en las líneas de SMT. Para esto tenemos los siguientes datos: 1) Tiempo promedio de duración del cambio antes del proyecto, el cual es 4.23 horas; 2) Tiempo promedio de duración del cambio con las acciones de mejora, el cual es 1.11 y 3) Número de cambios de modelo efectuados cada semana. La tabla 10.26 muestra estos 3 datos a través del tiempo.

	1 Week	2 Week	3 Week	4 Week	5 Week	6 Week	7 Week	8 Week
Tiempo muerto sin mejoras	72.25	76.5	68	68	76.5	59.5	51	68
Tiempo muerto c/Mejoras	19.89	18.9	16.48	8.48	20.16	15.68	13.44	17.92
# de Cambios de modelo	17	18	16	16	18	14	12	16

	11 Week	12 Week	13 Week	14 Week	15 Week	16 Week	17 Week	18 Week
Tiempo muerto sin mejoras	80.75	76.5	72.25	59.5	68	63.75	68	72.25
Tiempo muerto c/mejoras	21.28	20.16	19.04	15.68	17.92	16.8	17.92	19.04
# de Cambios de modelo	19	18	17	14	16	15	16	17

Fig. 10.26 Comparación de tiempos de cambio de modelo con/sin Seis sigma

Otro dato importante es el costo de depreciación de las líneas de SMT que se están utilizando. Al obtener el costo de depreciación mensual, éste es de \$87,000 dólares mensuales o su equivalente a \$120.83 dólares por hora.

Con toda la información anterior se puede obtener en que periodo de tiempo se recupera la inversión de los 108 mil dólares y esto es **en un lapso de 18 semanas**, una vez efectuados 286 cambios de modelo, esto únicamente con la disminución del tiempo muerto al aplicar la metodología seis sigma en combinación con la primera y segunda fase del SMED. Las figuras 10.27 y 10.28 ilustran lo anterior.

	1 Week	2 Week	3 Week	4 Week	5 Week	6 Week	7 Week	8 Week	9 Week	10 Week
Deltas (Horas)	52.36	57.6	51.52	59.52	56.34	43.82	37.56	50.08	46.95	37.56
Costo Ahorrado en USD	\$ 6,326.83	\$ 6,960.00	\$ 6,225.33	\$ 7,192.00	\$ 6,807.75	\$ 5,294.92	\$ 4,538.50	\$ 6,051.33	\$ 5,673.13	\$ 4,538.50
Costo Ahorrado Acumulado	\$ 6,326.83	\$13,286.83	\$ 19,512.17	\$26,704.17	\$33,511.92	\$38,806.83	\$ 43,345.33	\$ 49,396.67	\$55,069.79	\$59,608.29
% Costo Ahorrado	5.82%	6.41%	5.73%	6.62%	6.27%	4.87%	4.18%	5.57%	5.22%	4.18%
% Costo Acumulado Ahorrado (retorno de inversión)	5.82%	12.23%	17.96%	24.58%	30.84%	35.71%	39.89%	45.46%	50.68%	54.86%

	11 Week	12 Week	13 Week	14 Week	15 Week	16 Week	17 Week	18 Week	19 Week	20 Week
Deltas (Horas)	59.47	56.34	53.21	43.82	50.08	46.95	50.08	53.21		
Costo Ahorrado en USD	\$ 7,185.96	\$ 6,807.75	\$ 6,429.54	\$ 5,294.92	\$ 6,051.33	\$ 5,673.13	\$ 6,051.33	\$ 6,429.54		
Costo Ahorrado Acumulado	\$ 66,794.25	\$73,602.00	\$ 80,031.54	\$85,326.46	\$91,377.79	\$97,050.92	\$103,102.25	\$ 109,531.79		
% Costo Ahorrado	6.61%	6.27%	5.92%	4.87%	5.57%	5.22%	5.57%	5.92%		
% Costo Acumulado Ahorrado (retorno de inversión)	61.47%	67.73%	73.65%	78.52%	84.09%	89.31%	94.88%	100.80%		

Fig. 10.27 Tabla de ahorros al aplicar mejoras

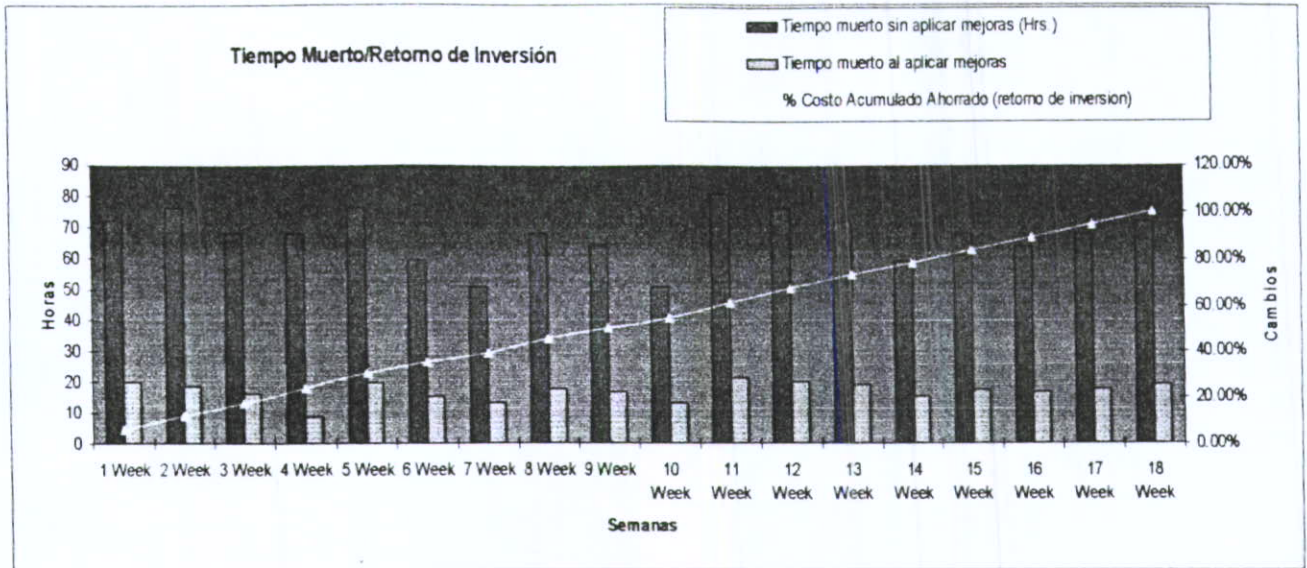


Fig. 10.28 Gráfica de comparación de tiempos muertos con/sin mejoras y el retorno de Inversión

Entonces, el primer beneficio es la reducción del tiempo muerto, lo que implica una mayor eficiencia de las líneas de producción. Veamos la tabla siguiente, la cual es más palpable en cuanto a este beneficio.

Horas disponibles por semana	396	Sin aplicar mejoras
Tiempo muerto prom semanal por cambios de modelo	91.5	
Eficiencia de la línea	62%	
Horas disponibles por semana	396	Con aplicar mejoras
Tiempo muerto prom semanal por cambios de modelo	17.2	
Eficiencia de la línea	92%	

Fig. 10.29 Resultados de Mejora en eficiencia de líneas de producción al aplicar mejoras

### **¡Se puede observar una mejora de 30% en la eficiencia de las líneas!**

El plan de producción actualmente se programa o utiliza tres líneas de SMT, por lo que un 33% de mejora en la eficiencia permite **disponer de una línea** para otro cliente o desinstalar simplemente la maquinaria para no incurrir en otros gastos. La implementación de las acciones ayuda en un 30% y el otro 3 % se obtuvo de mejorar la eficiencia en otros procesos, Si la depreciación de tres líneas de SMT es de \$87,000 dólares mensuales por 3 líneas el costo mensual por línea para el caso particular de las líneas donde se aplicó la metodología seis sigma para reducir el tiempo de cambio es por tanto de \$29,000 dólares, entonces podemos hablar en términos financieros de **un ahorro por depreciación de maquinaria de ¡\$27,000 dólares mensuales!**

#### **10.11 Conclusiones**

La tecnología de montaje superficial actualmente está ligada y relacionada directamente con el desarrollo de productos tecnológicos, donde la miniaturización e integración de los componentes que lo constituyen juegan un papel muy importante.

Diseñadores originales de equipo, que a su vez son dueños de marcas de renombre y que llegan a conformar corporaciones importantes tales como Sony, Panasonic, Motorola, GE etc. Son grandes promotores del desarrollo de nuevos y mejores productos y servicios durante toda la cadena de suministro. La mejora continua, obligada en un mundo de competencia feroz entre todas las compañías, da lugar a que la eficiencia en máquinas de SMT y en general en cualquier proceso de la industria maquiladora, sea una variable crítica a medir cuyo impacto directo se verá reflejado en ganancias tanto para la compañía como para el cliente que se le vende el producto.

Sabemos que incluso los fabricantes de maquinaria de SMT, preocupados por saber las necesidades de sus clientes, se han enfocado a desarrollar máquinas con software e implementos mecánicos o neumáticos, que efectúen el mejor cambio de modelo y minimicen el impacto en la producción de partes y en las eficiencias antes mencionadas. Pero no sólo esto es suficiente, además tiene que visualizarse un proceso muy amplio, “pensar fuera de la caja” y relacionar el proceso de cambio de modelo como una actividad que forma parte de un sistema de planeación y producción de ahí que afirmemos que el mejor cambio es aquel que no se hace, es decir, aquel que se puede realizar sin que afecte la eficiencia de una línea de producción.

Dado lo anterior, la aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma aunado a las nuevas máquinas de SMT existentes en el mercado, más el enfoque global del proceso de cambio de modelo ligado a más actividades, pueden mejorar aún más la eficiencia por línea de producción de las máquinas. Resaltamos también la ventaja de seguir la metodología DMAIC de seis sigma, que al tener siempre presente la aplicación de técnicas estadísticas de análisis de problemas que van de la mano del enfoque financiero y del cálculo de ahorros, facilita la toma de decisiones de carácter gerencial. Queremos mencionar también que todas las fases de la metodología DMAIC, son importantes ya que una depende de la otra, y todas en conjunto conllevan a la solución de raíz del problema. Lo que si es de resaltar es que las etapas de analizar e implementar mejoras requirieron un mayor número de recursos humanos que las demás etapas.

Por otra parte, en un ambiente de alta mezcla y bajo volumen de productos, es indispensable una relación estrecha y cercana entre el planeador de producción, su cliente y los nuevos productos y procesos que van a ofrecer. El planeador necesita tener un amplio conocimiento del proceso de cada uno de los productos a ensamblar, así como los componentes electrónicos que los forman. Tan importante esta sinergia que si no se agrupan los ensambles en una buena familia de productos basadas en similitud de procesos se estará realizando un trabajo absurdo y extra, que además de no generar ningún valor agregado y

aunque se cuente con las mejores maquinas de SMT. Razón por la cual un capítulo de nuestra tesis es dedicado a la creación de ambientes de manufactura basado en familias de productos.

Nos gustaría resaltar lo útil y valioso que es la ayuda que un operario nos puede proporcionar y por ende, la información que puede aportar la persona que está más tiempo sobre una máquina o realizando una operación durante el proceso de ensamble o fabricación del producto. Sabemos que no se puede tener un grupo de mejora, si no se cuenta con el personal que trabaja en línea quien es el que ve, siente y es parte de los problemas ocasionados por áreas de oportunidad.

Antes de tener una clasificación de familia de productos se escuchaban comentarios del personal de línea de producción afirmaban “No es posible que vaya otra vez por este material, lo acabo de regresar...” clamor traducido a la necesidad de una mejor planeación. Volvemos al punto donde todo el personal de la empresa tiene el mismo derecho de aportar y de ser escuchado. Recordemos que se dedico un capítulo a la importancia del mejor recurso que tiene la empresa, al recurso que sin el no se podría hacer nada...El recurso humano.

También no podemos olvidar la herramienta o filosofía Japonesa 5 s. Tenemos que tener solo lo que necesitemos, en el lugar correcto según la frecuencia de su uso. Y así cuando lleguemos a necesitar algo, sepamos exactamente donde esta y lo tengamos disponible. Orden ante todo, si no hay orden no puede existir continuidad, armonía ni éxito en lo que hagamos. Es un hecho de que sin 5 s ninguna técnica de sistemas modernos de manufactura tan en boga tales como la manufactura esbelta, el justo a tiempo, las técnicas de SMED y el mantenimiento preventivo total jamás funcionarían, razón por la cual dedicamos el capítulo cuatro a resaltar la utilidad e importancia de las 5 s.

Como se puede ver, se trata de pensar y actuar rápido y con visión más amplia, contemplar procesos como actividades que tienen relación con otras y la interrelación entre todos para poder aportar mejoras con sentido global. Alguna definición de locura es querer que las cosas cambien haciendo siempre lo mismo, y es donde la mentalidad oriental nos lleva

mucha ventaja, ellos dicen que los puntos de mejora están en tres lugares: *Aquellos ubicados donde los podemos ver, Aquellos ubicados donde no los podemos ver y aquellos que tenemos que buscarlos.*

En cuanto a la cuestión financiera, es difícil para una compañía hacer un espacio en presupuesto para mejorar, si dicho gasto es un gasto no planeado. Es entonces cuando entra la parte benéfica de gastar para mejorar y tener metas y objetivos bien alineados en tiempo, así al tomar en cuenta el beneficio y en cuanto tiempo queda implementado, se convierte en un arma muy valiosa que otorga voz y voto al solicitar el presupuesto para la implementación de mejoras.

En relación a los objetivos planteados, se cumplió con cada uno de ellos. Estos objetivos fueron:

- 1.- La creación de un sistema que nos permite medir el impacto de los tiempos muertos por cambios de modelo.
- 2.- La aplicación de la metodología DMAIC de seis sigma.
- 3.- La creación de puntos de medición y control para cada subproceso de la línea de montaje superficial para ensambles de manufactura electrónica, que ayuden a mejorar los tiempos en el cambio de modelo.

Asimismo la hipótesis fue comprobada y podemos establecer que mediante la implementación de DMAIC más la primera y segunda fase del SMED en líneas SMT de producción de ensambles electrónicos, se logran reducciones significativas en los tiempos de ajuste y se eliminan algunos tiempos muertos y por consiguiente se consiguen tanto un aumento en la productividad global del equipo como un ahorro en dinero para la compañía, teniendo una mayor utilidad.

Por último quisiéramos cerrar con una frase que la corporación Adidas maneja en una campaña publicitaria...

*“Imposible es sólo una palabra que usan los hombres débiles para vivir fácilmente en el mundo que se les dio, sin atreverse a explorar el poder que tienen para cambiarlo. Imposible no es un hecho, es una opinión. Imposible no es una declaración, es un reto. Imposible es potencial. Imposible es temporal”*

*Nada es imposible.*

## BIBLIOGRAFIA

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brue, Grez. Six Sigma for Managers. McGraw-Hill 2002 isbn 0-07-138755-2.
- Creating Mixed Model Value Streams: Practical Lean Techniques for Building to Demand. Kevin Duggan/Jeffrey Liker. Productivity Press
- Desarrollo de una Cultura de Calidad, Humberto Cantú Delgado
- Factory Physics Second edition. Wallace J Hopp – Mark L. Spearman. McGraw Hill
- Grez Brue, Six Sigma for Managers 2002
- Goldratt Elí , "La Meta"
- High-Mix Low-Volume Manufacturing. R. Michael Mahoney. Hewlett Packard Professional Books.
- Implementing World Class Manufacturing - Shop Floor Manual (Includes Lean Manufacturing). Larry Rubrich/Madelyn Watson
- Jack Welch , CEO de General Electric,
- Quick Changeover for Operators: The Smed System (Shop floor Series). SHINGO, Shingeo. Productivity Press
- Shigeo Shingo. The SMED System
- Taichi Ohno , The Toyota System

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

## Glosario de términos

**ANSI.** American National Standards Institute. Instituto Americano Nacional de Patrones fundado en octubre de 1918.

**AOI.** Automatical Optical Inspection. Máquina automática de inspección típicamente utilizada en líneas de manufactura de tarjetas electrónicas para discriminar defectos de soldadura.

**AXI.** Automatical Xray Inspection. Máquina automática de inspección con tecnología de rayos X, típicamente utilizada en líneas de manufactura de tarjetas electrónicas para discriminar defectos de soldadura, con la ventaja de expandir su rango de inspección de manera tridimensional.

**BGA.** Ball Grid Array. Empaquetado de circuito integrado en forma de matriz de esferas.

**Black Belt.** Término de *Seis Sigma* que define un grado de entrenamiento (160 a 240 horas), experiencia y conocimiento en técnicas estadísticas y uso intensivo de las mismas para la solución de problemas.

**Causa raíz.** Análisis de un evento en el cual queda determinado el cómo y por qué del mismo.

**Choque térmico.** Rotura del material provocada por un cambio brusco de temperatura

**Corrida piloto.** Fabricación de una cantidad mínima de producto (20 a 500 piezas) que tiene como objetivo depurar todo los procesos y dejarlos puestos a punto para la producción en masa

**Corrida prototipo.** Fabricación de unas cuantas unidades de producción que tendrán como fin generar la información suficiente para determinar si el producto necesita mejoras o se congela su diseño para continuar con las corridas piloto

**Corto de Soldadura.** Defecto en cual la unión de dos o más terminales de un componente se ve invadido por soldadura

**Criterios cosméticos.** Criterios de calidad que abarcan cualidades en el producto que son visibles para el usuario final y que demeritan su apariencia, mas no su funcionamiento, Ejemplos, qué tan manchado está un plástico de un teléfono, que tan sucio está una pantalla de una televisión. Los criterios cosméticos definen si un producto presenta un defecto cosmético o no de acuerdo a una especificación proporcionada por el cliente

**Cuello de botella.** Límite en la capacidad del sistema que puede reducir el tráfico ya sea en condiciones normales o incluso en condiciones de sobrecarga del sistema

**DMAIC** Define, Measure, Analyze, Improve and Control : Metodología *Seis Sigma* para la solución de problemas basada en el ciclo Definir-Medir-Analizar-Mejorar y Controlar.

**Esténcil.** Herramental utilizado en impresoras de soldadura en pasta para depositar soldadura en las áreas requeridas.

**Fixture.** Anglicismo para nombrar de manera general accesorios o herramientas utilizados en estaciones de ensamble, prueba o inspección de productos.

**Fiducial.** Punto de referencia o “marca” utilizada por sistemas de visión en maquinaria de SMT

**Flux.** Activador químico auxiliar en el proceso de soldadura cuya función principal es la de limpieza previa de uniones al proceso de soldadura.

**High Mix.** Alta mezcla. Término utilizado en manufactura electrónica para indicar proyectos y/o clientes con gran variedad de productos a manufacturar, típicamente más de 50 productos se considera alta mezcla

**IC.** Integrated Circuit,. Circuito Integrado Nombre dado a los circuitos electrónicos miniaturizados. Una pastilla de aproximadamente 40 a 250 milímetros de grosor, contiene desde unos cuantos hasta varios cientos de miles de componentes electrónicos

**ICT.** In Circuit Test. Prueba en Circuito. Prueba eléctrica para tarjetas electrónicas basada en pruebas individuales de cada componente. Su efectividad depende en gran parte del acceso físico a mediciones (diseño) y de la elaboración del programa y accesorio (*fixture*) de prueba.

**Inspección Laminográfica.** Técnica de inspección utilizada por máquinas AXI basada en cortes longitudinales o laminares de inspección.

**Insuficiencia de Soldadura.** Defecto en el cual una unión de soldadura carece en todo o en parte de la misma de acuerdo a un estándar predefinido

**IPC** Institute of Interconnecting and Packaging Electronic Circuits. Organización fundada en 1957 que agrupa diseñadores, fabricantes, compañías ensambladoras y manufactureras originales de equipo, que liderea la estandarización, entrenamiento, e investigación de todo lo referente a circuitos electrónicos

**JEDEC.** Joint Electron Device Engineering Council. Organización norteamericana que representa y liderea la estandarización de normas de ingeniería de semiconductores.

**Kanban.** Término japonés que significa “señal” el cual es considerado como herramienta básica en sistemas “*pull*” de manufactura.

**Kit.** Palabra inglesa que se utiliza para designar un conjunto completo de elementos o útiles para montar o componer un producto

**Lead Time.** Anglicismo utilizado para definir típicamente el tiempo desde que se ordena un producto hasta que se embarca. Incluye tiempo de procesamiento de la orden y el tiempo utilizado en la producción del producto.

**Low Volume.** Anglicismo para definir Bajo Volumen (de producción típicamente). Si mensualmente se programan menos de 100 unidades se considera bajo volumen en la industria electrónica

**MRP** Planeación avanzada de procesos para la manufactura (MRP). Programa que convierte estimaciones de demanda en programas de producción, genera listas de insumos, crea órdenes de trabajo para cada paso del proceso, registra niveles de inventarios, coordina compras de materiales con los requerimientos de producción, genera reportes de problemas y otra información para propósitos financieros, de acuerdo a la configuración del programa

**OHM.** Unidad de medición de la resistencia eléctrica

**PEPS.** Primero en entrar primero en salir. También conocido como FIFO por sus siglas en inglés. Sistema de mantener el orden en el cual un proceso o producto debe ser procesado.

**Pin.** Anglicismo por aguja o guía. Los herramientas basan el posicionamiento en estas guías.

**POKA-YOKE.** Término japonés para indicar una herramienta o herramienta a prueba de errores.

**PTH.** Pin Through Hole Es una perforación platinada que sirve como una unión conductiva entre las capas de una tarjeta de circuito impreso. A los componentes electrónicos que atraviesan esta perforación se les conoce como componentes de PTH.

**ROIC.** Return On Investment Capital. Retorno sobre la inversión. Métrica financiera de rentabilidad que muestra el número de veces que una inversión retornará a la empresa en determinado período de tiempo.

**Scrap.** Anglismo para definir despilfarro, pérdida o desperdicio.

**Seis Sigma.** Es un proceso orientado a diseñar y entregar productos y servicios de óptima calidad basado en el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Fue originalmente diseñado por Motorola a mediados de los 80's.

**Set Up.** Anglismo utilizado para hacer referencia a ajustes en maquinaria y/o equipo

**SMD.** Surface Mount Device. Dispositivo de montaje superficial.

**SMED.** Single Minute Exchange Die. Técnica que permite reducir tiempos e incrementar más frecuentemente los cambios de modelos/tiempos de arranque, mejorando la flexibilidad, reduciendo el tamaño de lotes y los ciclos de tiempo para la manufactura.

**SMT.** Surface Mount Technology. Tecnología de Montaje Superficial

**Takt time.** Palabra germana para latido o ritmo. Takt time está relacionado directamente con la velocidad o rapidez a la que el cliente compra un producto o servicio y es calculado dividiendo el tiempo disponible de trabajo entre la demanda en ese periodo de tiempo.

