

# Universidad Autónoma de Baja California

## Maestría en Procesos Industriales

Tesis

Integración de las metodologías de manufactura esbelta y seis sigma para el mejoramiento de los procesos.

Tesista

Juan Carlos Ling López

Director de Tesis

MC. Mario Contreras

## INDICE

Tema de Tesis .....	4
Capítulo I Introducción	
1.1 Antecedentes .....	5
1.2 Aplicación del proyecto de tesis .....	5
Capítulo 2 Soporte Teórico	
2.1 Manufactura Esbelta .....	7
2.1.1 Antecedentes. ....	7

2.1.2 Metodología de Manufactura Esbelta	8
2.1.3 Herramientas de Manufactura Esbelta	10
Mapa de Cadena de Valor	11
5S's	13
La fábrica visual	15
Takt time	16
Trabajo Estándar	17
Mantenimiento productivo total (TPM)	17
Flujo de una sola pieza (one pice flow)	18
Kanban	19
Modelos Mixtos (mix models)	25
Heijunka	26
SMED	27
Poka Yoke	31
Ergonomía	33
2.2 Seis Sigma	35
2.2.1 Antecedentes.	35
2.2.2. Introducción a Seis Sigma	35
2.2.3 Estadística básica para la mejora de procesos	37
2.2.4 Metodología.	42
2.2.5 Herramientas de Seis Sigma.	45
Mapa de pensamiento	45
SIPOC	46
Mapa de proceso	47
Matriz causa – efecto	49
Análisis de modos de falla y efectos (FMEA)	50
Voz del proceso (Gráficos de control)	52
Evaluación del sistema de medición (MSE)	54
Componentes de variación (COV)	56
Diseño de experimento (DOE)	57
Plan de control	61
2.3 Integración de Manufactura Esbelta y Seis Sigma	62
2.3.1 Antecedentes.	62
Capítulo 3 Comprobación de la Hipótesis	
3.1 Comprobación de la Hipótesis	64

---

---

3.2 Resultados de la combinación de metodologías	82
Capítulo 4 Conclusiones	
4.1 Conclusiones	83
Referencias Bibliográficas	84

## Anexos

- Anexo I Formato de análisis de setup
- Anexo II Mapa de proceso de setup
- Anexo III Instrucción de Trabajo de Preparaciones Previas (dado, documentos y material)
- Anexo IV Evaluación al sistema de medición de la prueba de flujo
- Anexo V Gráficos de control del análisis de componentes de variación (COV)
- Anexo VI Análisis completo del sistema de medición de la prueba funcional de las aletas
- Anexo VII Análisis de subgrupo racional para cambio en gráfico de control

## Tema de Tesis

Tesis:

Integración de la metodología de manufactura esbelta y seis sigma para el mejoramiento de los procesos.

Objetivo:

Crear una sinergia al integrar el uso de las metodologías de manufactura esbelta y seis sigma para el mejoramiento de los procesos utilizando ya no metodologías de mejora continua puras, sino logrando modelos híbridos que combinen herramientas de una u otra metodología según el caso lo requiera que permitan obtener resultados de mayor impacto para el negocio.

Hipótesis:

Las metodologías de mejora continua de manufactura esbelta y seis sigma pueden integrarse creando modelos flexibles y efectivos para el mejoramiento de los procesos.

## Capítulo I Introducción

### I.1 Antecedentes

El corporativo Honeywell desde hace varios años se preocupó por desarrollar metodologías de mejora para sus procesos, desde 1994 adoptó la metodología seis sigma y desde 1997 la metodología de manufactura esbelta ambas iniciadas en Allied Signal por el impulso de el COE Larry Bossidy y adoptado por Honeywell tras la fusión de los dos corporativos en el año 1999. Para la creación del programa de Seis Sigma se contó con la participación de Allan Larson quien compartió las prácticas de Motorola y posteriormente la consultoría Six Sigma Associated se desarrolló la infraestructura para su despliegue, en el caso de manufactura esbelta el programa fue diseñado en base la consultoría de la Universidad de Tennessee por tal motivo desde su origen fueron concebidas como metodologías independientes e incluso el personal a cargo de la difusión y aplicación de estas metodologías a lo largo y ancho del corporativo eran equipos independientes. El principio era que seis sigma se enfoca en reducir la variación de los procesos y que manufactura esbelta se enfoca a la eliminación del desperdicio. Por lo que surgieron varias teorías a nivel directivo. La primera era que una metodología no estorbaba a la otra, por lo que no había problema de mantener estas estructuras independientes, otra teoría era que existía un conflicto entre las metodologías por el orden en que debían ser aplicadas bajo el criterio de que no es deseable tener un proceso fuera de control trabajando un ritmo acelerado lo que detenía la implementación de manufactura esbelta. Este pensamiento quizá motivado por que la responsabilidad de aplicar la metodología de mejora recaía en dos grupos de trabajo distintos bajo enfoques diferentes. Quizá la teoría mas acertada es la que es objeto de análisis en esta tesis es que estas dos metodologías no deben ser conceptualizadas como modelos de mejora independientes, sino modelos que se enriquecen uno al otro y que la decisión de cual aplicar, en donde y su integración en la mejora de un mismo proceso, debía obedecer a las necesidades del negocio y no a la preocupación por competencia en la efectividad de una u otra metodología. No solo el corporativo Honeywell analizó la integración o combinación de manufactura esbelta y seis sigma, varias compañías e instituciones han abierto foros de discusión al respecto ejemplo de esto son los artículos publicados por la revista Six Sigma Forum publicación de la ASQ Sociedad Americana para la Calidad Ref. 1 (Ramón V. León 2002) Ref. 2 (Godfrey 2002)

Bajo el pensamiento de la integración el corporativo Honeywell en el año de 1999 decide crear el programa Seis Sigma Plus el cual se define como la integración de Seis Sigma y todas las demás metodologías de mejora en un solo programa entre los mas destacados son el de TQM Total Quality Management, LM Lean Manufacturing y de donde toma su nombre Seis Sigma. Ref. 3 Six Sigma Plus

No es hasta el 2002 que Honeywell crear un modelo de integración de las metodologías aunque el seguimiento a dicho modelo no ha sido del todo posible, ya que las particularidades de cada proceso hacen complejo el modelaje de esta metodología y mas bien se ha optado por establecer las fases de un proyecto de mejora y utilizar a las metodologías como una caja de herramientas, donde el equipo de mejora toma la herramienta que más se adecua para la situación que se enfrenta en cada fase.

## 1.2 Aplicación del proyecto de tesis

Para probar la hipótesis de ésta tesis se realizó un trabajo de aplicación en la planta de Honeywell Aerospace de México ubicada en Mexicali B.C. El propósito del corporativo al establecer la planta aquí en Mexicali hace ya muchos años es el de buscar una reducción de costos de fabricación de sus productos, aprovechando dos factores muy importantes. La cercanía de sus proveedores, y el bajo costo de operación de una planta en México comparado con el de operarla en los Estados Unidos.

Los productos que se fabrican en esta planta principalmente son intercambiadores de calor para diferentes sistemas de los aviones, desde sistemas de aire acondicionado, hasta enfriadores de aceite.

Para la fabricación de estos intercambiadores de calor, son requeridos numerosos procesos y la fabricación de diferentes subensambles, dichos subensambles a su vez están compuestos por diferentes componentes o detalles, que para el efecto de este trabajo, es precisamente el proceso de fabricación de ciertos componentes llamados aletas que permiten aumentar el área de transferencia de calor entre los fluidos que maneja el intercambiador donde se centrará el proyecto.

El proceso de fabricación aletas está en proceso de transferencia de la planta del corporativo de Honeywell en Torrance a la planta en Mexicali. Es un hecho mas o menos común, que cuando la fabricación de ciertos productos es transferido a otra planta, se tenga una vigilancia más estrecha de la calidad del producto por parte del cliente, que teme verse afectado por dicho cambio. Este es el caso actual del proceso de fabricación de las aletas. Existe una preocupación que la planta de Mexicali no logre ser capaz de alcanzar el volumen de producción requerida con los niveles de calidad deseados.

Al momento del inicio de este trabajo de tesis se estaban produciendo menos del 40% de los números de parte en la planta de Mexicali. La decisión de trabajar en este proceso es por que el desempeño del proceso no era muy alentador respecto a la capacidad del proceso en Mexicali para la producción de estos componentes, poniendo en riesgo la estrategia del corporativo que intenta transferir no solo la fabricación de componentes, sino el intercambiador de calor entero a Mexicali.

Las principales medidas de desempeño a inicios del año 2002 se encontraban de la siguiente manera:

- Entregas a tiempo: 20%
- Tiempo para procesar una orden: 25 días
- Tiempo de entregas atrasadas: 2 semanas

Con estas medidas de desempeño, clientes internos y externos se encontraban inconformes, además que subsanar tales deficiencias requería elevar los costos de producción, al aumentar turnos de producción, tiempo extra, aumentar el inventario, etc.

### Alcance del proyecto:

El proyecto busca como objetivo principal el de mediante la integración de los modelos de mejora continua Seis Sigma y Manufactura Esbelta someter a control el proceso de producción de las aletas y así cumplir los requerimientos de clientes internos y externos, logrando su satisfacción y grandes ahorros. Las medidas de rendimiento que se pretenden alcanzar son las siguientes:

- Entregas a tiempo: mayor al 85%

- Tiempo para procesar una orden: 12 días
- Entregas atrasadas: no mayor a 2 días.

## Capítulo 2 Soporte Teórico

### 2.1 Manufactura Esbelta

#### 2.1.1 Antecedentes.

En la primavera de 1950 Eiji Toyoda realizó una visita a la planta de Ford en Detroit. Eiji era miembro de la familia que en 1937 fundó la compañía Toyota Motor Company. En 1949 se había colapsado las ventas de Toyota. Después de analizar cuidadosamente el sistema de producción que operaba en la planta de Ford Eiji concluyó que era posible mejorar el sistema de producción y junto con el genio de la producción Taiichi Ohno concluyeron que el sistema de producción en masa no podría funcionar en Japón, dando inicio al Sistema de Producción Toyota que hoy conocemos como manufactura esbelta.

Los problemas que enfrentaba Toyota eran los siguientes: El mercado domestico requería una amplia variedad de vehículos a bajo volumen, la fuerza de trabajo exigía no ser tratada como un costo variable pensamiento impulsado por las leyes introducidas por la ocupación americana, el estado de la economía japonesa después de la guerra impedía la compra en masa de tecnología y las compañías extranjeras estaban ansiosas de desarrollarse en el mercado japonés y defenderse de la posible exportación de autos japoneses. Y como respuesta a esta última, el gobierno prohibió cualquier inversión extranjera directa a la industria automotriz japonesa.

Ante este escenario Taiichi Ohno se dio cuenta que utilizar las técnicas utilizadas por la industria de Detroit no se ajustaban a situación, por otro lado, la producción artesanal utilizada por la compañía, no iba a ser suficiente para entrar al mercado de masas que se pretendía penetrar. Ohno sabía que necesitaba otra opción.

Una de las primeras acciones que realizó fue resolver los problemas laborales que se habían generado al final de los años 40's. Después de un despido del 25% del personal, para el restante se establecieron dos compromisos por parte de la compañía: el primero trabajo de por vida, el segundo era que el salario iba a estar ligado a la antigüedad, y no a la actividad que desarrolla estando este ligado a las ganancias de la compañía mediante bonos. El compromiso de los trabajadores fue ser flexibles en la

asignación de tareas y ser proactivos en iniciativas de mejoras en vez de reactivos cuando surjan problemas. El nuevo modelo de recursos humanos pagó enormes dividendos.

No solo se innovó en el ramo de recursos humanos, sino que también se hicieron cambios en otras áreas con la intención de reducir los desperdicios que Ohno había visto en sus visitas a Detroit por ejemplo.

Agrupar trabajadores en equipos encabezados por un líder y no un supervisor, donde este grupo tenía la asignación de realizar un grupo de pasos del ensamble, el líder coordinaba al equipo y hacia también operaciones de ensamble. La asignación al equipo de labores de limpieza, reparación menor de herramienta y verificaciones de calidad. La asignación de un tiempo periódico para sugerir mejoras al proceso (eventos kaizen). Dar la facultad a cada trabajador de parar la línea si ocurría un problema que el no pudiera resolver, creando una crisis que forzaba a la formación de un equipo de respuesta rápida mejorando el tiempo de respuesta a los problemas. En las plantas de Toyota donde el operador puede parar la línea se han alcanzado 100% de eficiencia en calidad. (James P. Womack 1991)

También Ohno implementó la metodología de solución de problemas de los 5 ¿por que?

Ohno se dio cuenta que solo el 15% del trabajo se hacía en las plantas de ensamble, el resto del trabajo es la manufactura de partes individuales y subensambles por lo que la coordinación en la manufactura de estos era vital para lograr tenerlos a tiempo, de alta calidad y a bajo costo, lo que hizo enfocarse en la cadena de proveedores.

El primer paso fue organizar a los proveedores en niveles, el primer nivel que era de ensambles mayores se integraron al equipo de desarrollo del producto, dándoles un conjunto de especificaciones y el diseño final era responsabilidad del proveedor, como sus proveedores no competía entre si Toyota promovió la comunicación entre sus proveedores para facilitar las mejores prácticas y coordinación. Después el segundo nivel de proveedores que se componía de pequeños subensambles o partes individuales se asociaron por tipo de subensamble. En este punto Ohno desarrolló el flujo de partes creando el sistema llamado Kanban. Este sistema eliminó los inventarios inútiles y mejoró la respuesta a la demanda.

Fueron muchas las actividades y teorías que se desarrollaron dentro del sistema de producción Toyota, las mas impactantes se describirán mas adelante en este trabajo. Cabe mencionar que les tomó mas de 20 años a Eiji Toyoda y Ohno la implantación de este paquete de ideas.

A partir de los años 80's América, Europa y Corea trataron de igualar o mejorar el desempeño que la manufactura esbelta (Sistema de Producción Toyota) por medio del nacionalismo, pero no fue

sino hasta los años 90's que las mismas compañías y muchas otras están adoptando a la manufactura esbelta como una estrategia de negocio. (James P. Womack 1991)

### **2.1.2 Metodología de Manufactura Esbelta**

La manufactura esbelta está basada en cinco principios los cuales marcan la pauta para alcanzar una producción libre de desperdicios los principios son los siguientes:

1. Identificar lo que es valor para el cliente
2. Identificar la cadena de valor y eliminar el desperdicio
3. Hacer que el valor fluya cuando el cliente lo requiera
4. Involucrar y facultar a los empleados
5. Mejorar continuamente en búsqueda de la perfección

Para comprender mejor estos cinco puntos debemos clarificar el concepto de valor. El valor solo puede ser definido por el cliente, solo toma sentido cuando lo expresamos en la necesidad de productos o servicios. Los fabricantes solo crean valor para entregarlo a los clientes, no lo definen, por ello la importancia de claramente identificar la necesidad del cliente, para enfocarse plenamente en aquello que va a ser valorado o deseado por el, en otras palabras identificar por que va a estar dispuesto a pagar.

El proceso de creación de valor por parte del fabricante o prestador de servicio esta compuesto por una secuencia de pasos a esta secuencia se le conoce como cadena de valor. Dentro de esta cadena hay pasos que agregan valor al producto o servicio pero hay otros que no agregan valor a estos últimos se les debe de marcar como desperdicios y se deben luchar por eliminarlos.

En el concepto de valor hay dos dimensiones muy importantes: La cantidad y el tiempo. El cliente va a estar dispuesto a pagar por algo solo si lo obtiene en la cantidad requerida y en el tiempo deseado, por lo que no tiene sentido realizar alguna actividad si no esta dirigida a cubrir una necesidad expresada por el cliente.

Para lograr hacer funcionar estos conceptos es necesario que todos y cada uno de las personas dentro de la cadena de valor comprendan estos principios, pero sería inútil el solo hecho de comprender los principios si no están involucrados en el concepto y si no están facultados a tomar decisiones dentro de su competencia que se alineen a los principios.

Por último el hecho de reconocer que nada es perfecto y que los esfuerzos por mejorar deben de ser una constante. Lo que la compañía deje de hacer por eliminar el desperdicio y crear valor, será una oportunidad para otras compañías para arrebatarle su mercado. (James P. Womack 1996)

Ya mencionamos como se define valor pero quizá lo que hay que clarificar es cuando el fabricante o proveedor de servicio genera valor. Para ello hay una regla muy sencilla, se agrega valor en una actividad si cumple con las tres siguientes condiciones:

1. Si el resultado de la actividad es valorado por el cliente
2. Si existe transformación física de la materia o de la información
3. Si la actividad esta hecha bien a la primera vez

Al no cumplir con alguna de las tres condiciones podemos considerar a la actividad como que no genera valor y por lo tanto en el sistema es un desperdicio. El objetivo es eliminar el desperdicio ya que este se traduce como mayor costo de producción, ineficiencia, retrasos y en general insatisfacción del cliente o pérdidas al negocio. El desperdicio se ha clasificado en siete tipos:

1. Sobre producción. Producir más de lo que el cliente demanda, todo el gasto de producir este exceso será un desperdicio, ya que no hay cliente demandando este valor y que este dispuesto a pagar por él, otra forma de sobreproducción es forzar a que los procesos trabajen a una velocidad acelerada requiriendo un derroche extra de esfuerzo al que fuera necesario en una situación normal.
2. Defectos. Producir productos o servicios que no cumplen con lo especificado por el cliente, esto se transforma en gastos extra por retrabajos o reposiciones, dichos costos extras el cliente no esta dispuesto a cubrirlos, por lo que si los paga el cliente se produce una insatisfacción, si los absorbe la empresa, se reducen a las ganancias.
3. Transportación de material. En si toda actividad de transporte no agrega valor, pero es de reconocer que es imposible evitar el movimiento del material, el objetivo es reducir al máximo las distancias de transporte para reducir los costos de transporte, el riesgo por daños, el tiempo perdido y cualquier otro aspecto negativo relacionado al transporte
4. Espera. La espera no es mas que la falta de sincronía entre procesos. Esto puede provocar una espera del operador, de una máquina o del material. En cualquiera de los tres casos se está desperdiciando ya sea el capital humano, infraestructura o el dinero invertido en el producto, por lo que es un desperdicio.
5. Inventario. Hay varios factores negativos relacionados con el inventario, entre ellos se encuentran el hecho de que el dinero que se encuentra detenido en el inventario podría ser un flujo de efectivo que pudiera estar siendo aprovechado para generar mas dinero, el costo que implica el almacenaje por el espacio que ocupa, el costo por seguros y por el personal requerido para su resguardo entre otros
6. Movimiento de personal. Todo movimiento de personal que no transforma el producto debe considerarse como desperdicio ya que no agrega valor al producto. Algunas de las principales causas de movimiento es la búsqueda de herramienta, falta de organización, el hecho de tener que consultar o pedir dirección a un supervisor entre otros.
7. Desperdicio de proceso. Es el hecho de perder la oportunidad de combinar dos o mas procesos al mismo tiempo, así como también el hecho de realizar procesos que no son apreciados por el cliente. De esta manera se desperdicia la capacidad instalada y se hace un gasto extra de recursos en operaciones que al cliente no le interesan. (Honeywell International Inc. 2000)

Para la implantación la manufactura esbelta cubriendo sus cinco principios y buscando eliminar los desperdicios de un sistema de producción se han desarrollado diferentes modelos o guías para la implantación de este sistema entre los que podemos destacar el presentado por Hiroyuki Hirano en su manual para la implantación del Justo a Tiempo (Fig 1)



Fig 1 (Hiroyuki Hirano 1991)

### 2.1.3 Herramientas de Manufactura Esbelta

Se han identificado una serie de elementos que la manufactura esbelta debe contener y como interactúan entre si y se han plasmado en lo que le llaman la casa de manufactura esbelta (figura 2), en ella se muestra que la manufactura esbelta primeramente debe estar cimentada en la estabilidad, sobre esta estabilidad es posible edificar la calidad del producto y el flujo de materiales. Para poder operar los elementos de estabilidad, calidad y flujo es necesario contar con el personal entrenado capacitado y facultado para tal fin, todo ello con el objetivo final de satisfacer las necesidades del cliente (crear valor).

## Lean Enterprise - Tools

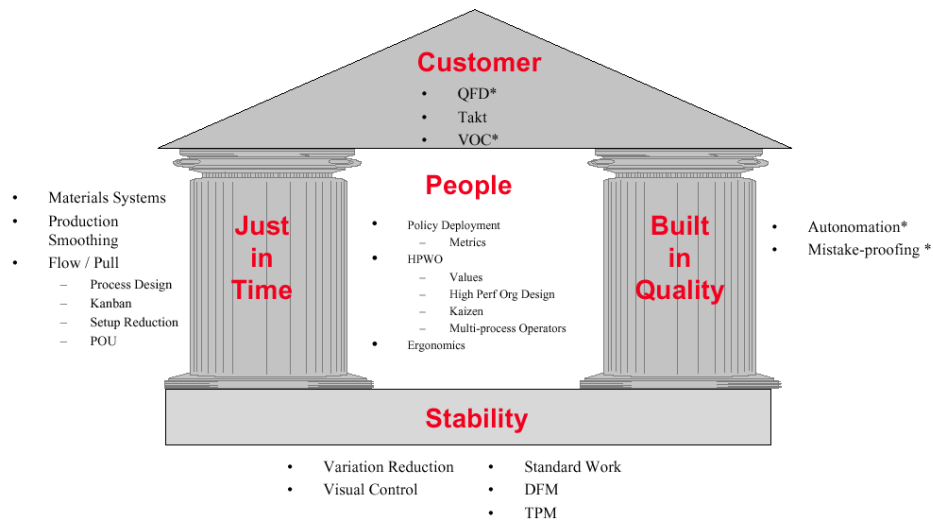


Figura 2 (Honeywell International Inc. 2000)

Cada uno de los elementos de la manufactura esbelta contiene un conjunto de herramientas que son las que permiten su implementación. Entre las más importantes podemos incluir:

- Mapa de cadena de valor
- 5S's, Fabrica Visual
- Takt
- Trabajo Estándar
- TPM
- One piece Flow
- El Sistema Kanban
- Mix Model
- Heijunka
- SMED
- POKA – YOKE
- Ergonomía

### Mapa de Cadena de Valor

Uno de los pasos principales para una implantación efectiva de manufactura esbelta es el trazo de la cadena de valor desde el proveedor hasta el cliente para encontrar las principales fuentes de desperdicio. Es en este paso de la implantación donde se tenía una carencia en las herramientas tradicionales. Precisamente en este punto donde se le atribuye al Lean Enterprise Institute el desarrollo de una nueva herramienta publicada en el Libro Learning to See (Mike Rother, 1999) donde explica paso

a paso la forma de hacer un mapa de cadena de valor no solo limitándose al flujo de materiales, sino también integra al análisis el flujo de información.

Pasos para crear un mapa de cadena de valor (estado actual)

1. Selección de una familia de productos
2. Identificar al cliente, el requerimiento y la forma de entrega solicitada
3. Enlistar los pasos del proceso de fabricación y agruparlos en casillas de tal modo que dentro de cada casilla no exista una interrupción del flujo de material, si hay una interrupción en el flujo, es necesario generar otra casilla
4. Seleccionar la información importante que debemos recolectar para cada casilla como por ejemplo: Tiempo de ciclo, tiempo de setup, número de personas, tiempo de trabajo disponible, índice de rechazos, etc.
5. Identifique los puntos de acumulación de inventario (aquellos puntos donde el flujo se ve interrumpido) y cuantifique el inventario en piezas, dinero o tiempo. La representación es un triángulo.
6. Identifique al proveedor o proveedores e identifique la cantidad de materia prima que envía, la frecuencia.
7. Trace todos los flujos de información actual, generalmente se representa al MRP al centro del mapa diferenciando los flujos electrónicos de información con una línea quebrada de los flujos de información física con una línea continua.
8. Trace una línea de tiempo debajo de las casillas e inventarios con dos niveles. En el nivel superior indique el tiempo que dura cada estación, en el nivel inferior, el tiempo de valor agregado y al final realice un resumen para identificar el % del tiempo que esta agregando valor al producto.

El mapa debe observarse aproximadamente como se muestra en la figura 3.



En este mapa de estado actual podemos identificar las principales barreras que impiden que producto fluya a través de la cadena de valor y las barreras de comunicación que impiden dar velocidad al proceso. También es fácil identificar los puntos donde se trabaja bajo un sistema empujar con las consecuencias negativas que esto genera.

Para complementar el mapa de estado actual, es necesario crear el mapa de estado futuro, el cual es la representación de cómo planeamos establecer el flujo del producto, para ello, podemos identificar aquellas acciones que debemos de tomar para propiciar el flujo tales como: establecer el Takt time y trabajo estándar, Kanbans, reducciones en tiempos de setup, one pice flow, Cajas de Heijunka, etc. Herramientas que describiremos mas adelante.

Cabe mencionar que para la representación completa tanto del estado actual como del estado futuro, existe toda una simbología que puede encontrarse en el libro Learning to See.

## 5S's

Las 5S's forman parte esencial para la implantación de cualquier programa de mejora en la organización, pues implica reunir esfuerzos para lograr beneficios a través de mantener un lugar de trabajo bajo condiciones tales que logren contribuir en la disminución de desperdicios, procesos, mejorar la moral del personal, trabajar organizadamente, más eficientemente y con seguridad. Las 5S's son el punto de inicio de cualquier actividad de mejora, y la clave para un cambio exitoso.

El nombre de 5S's se origina por la primera letra de las cinco fases que componen esta metodología: Seiri, Seiton, Seiso, Seketsu y Shitsuke aunque al traducir al español tenemos: Separar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar y Sostener.

Separar:

•**Definición**—Separar los elementos necesarios y los innecesarios.

—Almacenar elementos utilizados a menudo en una zona de trabajo, y los elementos poco utilizados lejos de la zona de trabajo, o eliminar los innecesarios.

•**Por qué**—Elimina los desperdicios

—El área de trabajo es más segura

—Se gana espacio

–Es más fácil visualizar el proceso

•**Cosas a recordar**–Comenzar en una zona, y a continuación seleccionar todo

–Estudiar la eliminación de objetos con todas las personas implicadas

–Utilizar procedimientos de descontaminación, medio ambiente y seguridad

–Los elementos que no se pueden eliminar inmediatamente deben ser etiquetados (Utilizar método de tarjeta roja)

Ordenar:

•**Definición**–Organizar todos los elementos necesarios.

–Tener un sitio para cada cosa.

–Un lugar para cada cosa y cada cosa en su sitio.

•**Por qué**–A la vista se ve lo que se necesita y lo que está fuera de lugar.

–Más eficaz a la hora de encontrar elementos o documentos (siluetas/etiquetas).

–Ahorra tiempo, no hay que buscar las cosas.

–Se recorren menores distancias.

•**Cosas a recordar**–Mantenga juntas las cosas que se utilizan juntas.

–Utilice etiquetas, tarjeta, marcas en el suelo, señales, siluetas sombreadas.

–Los elementos que se comparten deben estar en un lugar central (se elimina el exceso).

Limpia:

•**Definición**–Mantener su zona limpia constantemente.

•**Por qué**–Un lugar de trabajo limpio indica un proceso y un producto de calidad.

–El polvo y la suciedad son un peligro potencial para la salud.

–Un lugar de trabajo limpio ayuda a identificar situaciones anómalas.

•**Cosas a recordar**–Muchos operadores de las máquinas tienen tiempos de espera que se podría utilizar para la limpieza.

–Utilice un trazado de la planta como forma visual de identificar responsabilidades en cuanto a limpieza: elimina las “tierras de nadie”.

–La limpieza de la zona de trabajo es como tomar un baño. Alivia el estrés y el cansancio, elimina el sudor y la suciedad y prepara el cuerpo para el día siguiente.

#### Estandarizar

•**Definición**–Mantener el lugar de trabajo a un nivel tal que descubra los problemas y los convierta en obvios.

– Desplegar la información usando términos comunes, fijos y de manera que todos los entiendan.

•**Por qué**–Para mantener las actividades realizadas anteriormente (Separar, Ordenar, Limpieza).

–Para hablar todos un mismo idioma, entender la información que recibimos.

•**Cosas a recordar**–Debemos mantener el lugar de trabajo lo bastante limpio como para que los identificadores visuales sean eficaces para descubrir problemas ocultos.

–Desarrollar un sistema que permita a cualquiera situado en el lugar de trabajo ver los problemas cuando aparezcan.

–La información desplegada en términos comunes es mas fácil de interpretar y saber que nos están diciendo.

#### Sostener

•**Definición**–Para mantener la disciplina, necesitamos practicar y repetir hasta que se convierta en un hábito.

•**Por qué**–Incluir el “mantenimiento” en el proceso diario.

•**Cosas a recordar**–Redactar programas y listas de comprobación.

–Los buenos hábitos también son difíciles de romper.

–El compromiso y la disciplina hacia el mantenimiento resulta esencial al dar el primer paso para convertirse en “Clase Mundial”.

Proceso de Implantación de 5 S's: Va de lo específico en el área de trabajo, a la persona creando hábitos en sus comportamientos y actitud, y por último, se desarrolla un sistema de trabajo en toda la empresa y con todos los que la integran.

Proceso de Evaluación: Llevar a cabo un plan para la mejora del ambiente físico de trabajo, no puede considerarse completo si no existe una evaluación de resultados en donde se recopile y analice información útil para medir avances, detectar problemas y áreas de oportunidad para lograr la implantación. La evaluación funciona además como un motivante para no perder el paso e interés en la implantación y mantener enfocado al equipo.

Los beneficios de implantar 5S's son:

- Nos ayuda a reconocer los problemas, que es el primer paso para su eliminación.
- Permite resaltar los desperdicios en el área de trabajo para eliminarlos.
- Ayudará a hacer nuestro trabajo más sencillo, reduce movimientos inútiles y trabajos intensos
- Reduce accidentes, por que un lugar de trabajo mas limpio es también mas seguro.
- Hace mas visibles los problemas relacionados con la calidad
- Permite realizar pequeñas mejoras cada día, por cada uno de nosotros.
- Permite realizar mejoras de bajo costo y flexibles
- Son un promotor del trabajo en equipo.
- Ayuda a los empleados a adquirir auto-Disciplina
- Contribuye a la manera en como nos sentimos respecto de nuestro producto, proceso, empresa o nosotros mismos.
- Proporciona un Escaparate para el cliente, para promover nuestro negocio.

El Reto:

- Uno de los principales retos de esta metodología es la de promover un cambio de mentalidad hacia la creación de una cultura de autodisciplina, orden y economía.
- Se debe realizar un esfuerzo para concientizarse sobre la importancia de crear un ambiente propicio, en el cual sea posible desempeñar un trabajo eficiente

(Hiroyuki Hirano, 1997)

## La Fábrica Visual

La fábrica visual es una forma de administración del piso de producción donde el participar en la información es participar en el poder y el control. En la fábrica visual los empleados son individuos inteligentes proclives a motivarse por su trabajo y mantenerles informados sobre como sus esfuerzos afectan al resultado y darles el poder y responsabilidad de alcanzar esas metas aumentan esa motivación. La comunicación visual es fundamental en este proceso. Hacer que toda la información comúnmente disponible se puede entender directamente por todos los que la vean. El objetivo es que los trabajadores conozcan el resultado o rendimiento exacto, en cada momento del día. Saben exactamente lo que tienen que producir en el día y en qué situación están con la relación total. Conocen los ahorros de costos que pueden producir, la tasa de defectos y como esta es afectada por su trabajo.

Para lograr esta forma de administración el nivel de comunicación que se puede alcanzar mediante memorandums departamentales, teléfono, e-mail no es suficiente, lo que se busca es comunicar con efectividad en las secciones o áreas próximas, no sobre grandes distancias, una comunicación ordinaria capaz de facilitar el trabajo diario en entornos familiares. La palabra visual evoca un modo de retratar conceptos. La característica distintiva de la comunicación visual es el modo en que se organiza la información para que sea accesible.

Algunas de las características de los gráficos utilizados en la fabrica visual son que su tamaño debe permitir ser visibles a distancia, deben estar enfocados hacia el equipo, no hacia un individuo, se debe asegurar que el significado es entendible y deben de llegar al mayor número de personas, como lo muestra la figura 4. La comunicación visual es por encima de todo, una cuestión de cultura de compañía, una cultura en la que el principio esenciales la participación. Este tipo de comunicación es el modo predominante de comunicación dentro de organizaciones que buscan reforzar la autonomía de los empleados.

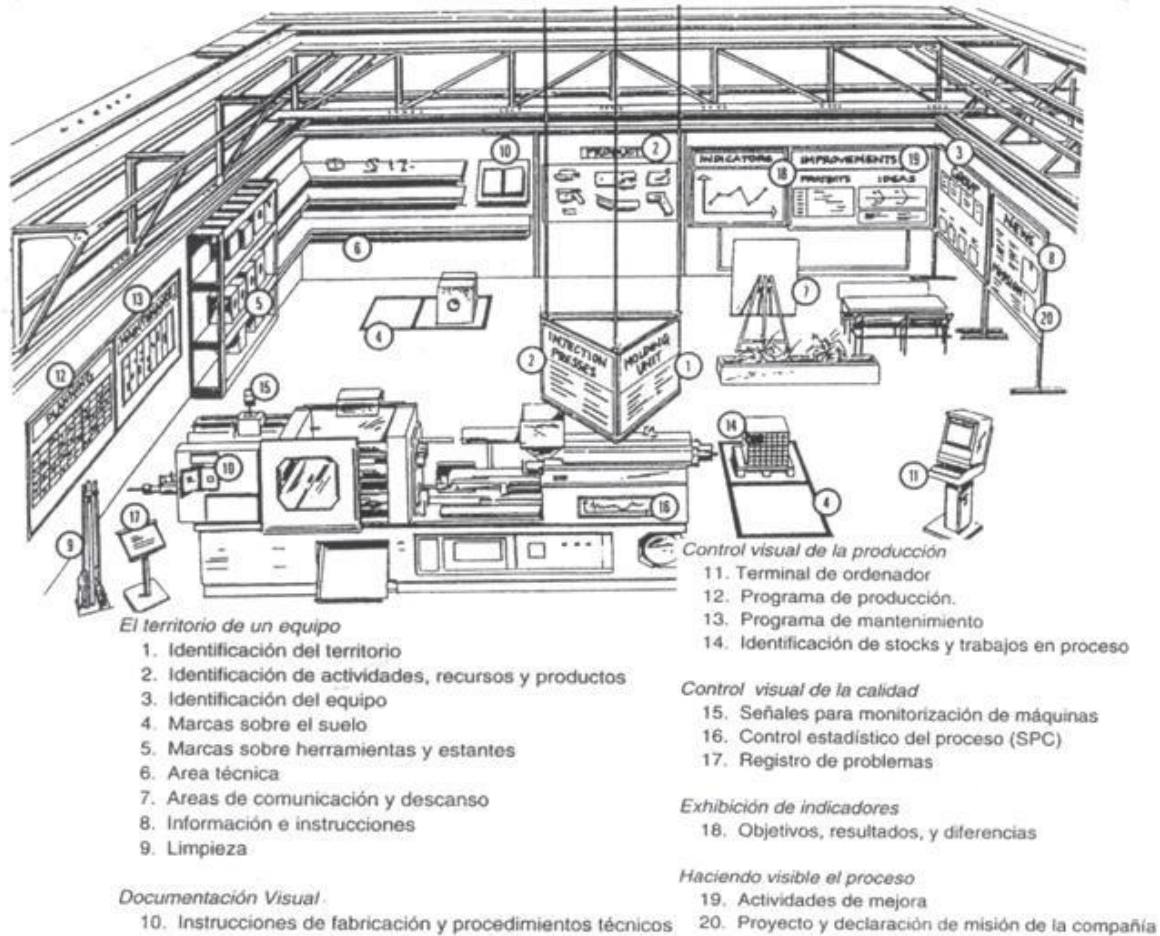


Fig. 4 Ejemplo de un área de producción con una administración visual (Diplomado Tecnológico de Monterrey, 1999)

## Takt Time

Takt Time - La razón a la que un producto terminado debe ser producido para cumplir con la demanda del cliente. Es decir, el takt time es la medida de cada cuanto tiempo producción debe entregar un producto terminado bueno para poder cumplir con los requerimientos del cliente.

**PASO 1:** Determinar qué modelos y familias de productos se producirán.

**PASO 2:** Determinar la demanda diaria de cada modelo.

**PASO 3:** Determinar el tiempo de trabajo promedio por día, considerando el número de turnos y el tiempo real de trabajo en cada turno. **Paso 4:** Calcular el takt time dividiendo el tiempo total disponible para producir en el día entre la demanda diaria.

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo total disponible para producción al día}}{\text{Demanda diaria}}$$

## Trabajo Estándar

El trabajo estándar se define como una serie de tareas agrupadas tales que la suma de los tiempos de cada una de las tareas es igual al takt time (fig 5).

Es importante distinguir entre trabajo estándar y actividades. El trabajo estándar se utiliza para equilibrar el contenido de trabajo en un proceso de fabricación para lograr una tasa de rendimiento diaria particular igual a la demanda del cliente. El trabajo estándar define la cantidad de contenido de trabajo realizado por cada operador para lograr un flujo equilibrado y una tasa de rendimiento lineal.

El objetivo del trabajo estándar es lograr el equilibrio de la línea

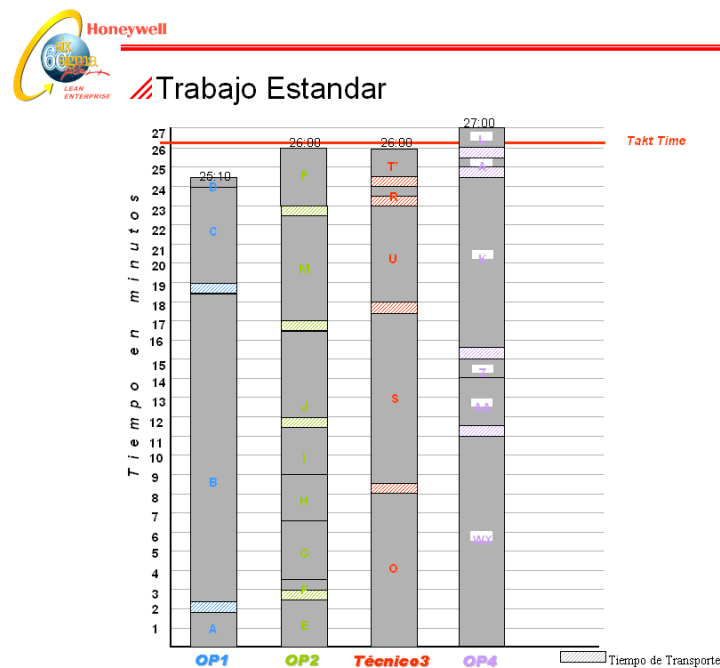


Fig. 5 Gráfica de trabajo estándar. A, B, ..... son operaciones. (Honeywell. 2001)

## TPM Mantenimiento Productivo Total

El mantenimiento productivo total es:

- Un enfoque proactivo en equipo hacia el mantenimiento
- Una responsabilidad de todos, no solo del departamento de mantenimiento
- Una garantía de seguridad y operación efectiva de los equipos
- Evitar fallas en los equipos
- Tener reparaciones planeadas en vez de fallas planeadas
- Previene el deterioro y prolonga el ciclo de vida de los equipos

El TPM Incorpora y planea en las siguientes áreas:

**Mantenimiento Preventivo:** Previniendo fallas al establecer un programa de mantenimiento que incluye por ejemplo: reemplazar filtros, rellenar los niveles de fluidos, etc.

**Mantenimiento Correctivo:** Convertir al mantenimiento preventivo fácil de hacer, ajustando el equipo para prevenir la caída del equipo.

**Mantenimiento en equipo caído:** Una revisión de los tiempos de equipo caído y sus causas para crear un plan que reduzca el tiempo de reparación de las máquinas.

**Prevención de Mantenimiento:** Comprar o diseñar equipo que requiere un mantenimiento mínimo.

### En una etapa avanzada

**Mantenimiento Predictivo:** Utilizar la tecnología para predecir fallas por ejemplo; análisis de calor, vibración, corriente eléctrica, etc.

**Mantenimiento Calendarizado:** Utilizar los datos desde el mantenimiento preventivo hasta el predictivo para agendar junto con el departamento de producción tiempos caídos de máquina. Estos tiempos agendados permiten a mantenimiento y producción trabajar en armonía.

TPM es un programa que requiere mantenimiento regular para una máquina en particular preferentemente realizado por el operador de la máquina. En base a datos y trabajo con el operador y mantenimiento se puede desarrollar un buen calendario de mantenimiento preventivo. Se debe de iniciar con un entrenamiento apropiado para la gente que debe realizar el mantenimiento.

#### Recomendaciones para la implantación del TPM

Asegurese que todo el personal esta involucrado, especialmente mantenimiento y el operador además de los supervisores y gerencia.

Hay que lograr que el operador y el liderazgo compren el programa.

Hacer fácil para el operador el aprender a seguir las instrucciones diarias, semanales y mensuales

Minimice el tiempo requerido para realizar el mantenimiento preventivo, asegurando un buen programa de mantenimiento correctivo.

Verifique los indicadores para asegurarse que el programa esta trabajando.

Un buen programa de 5S's es esencial para el éxito del TPM

Hay que celebrar incluso los éxitos pequeños.

#### Flujo de una sola pieza (one pice flow)

Es un sistema de producción donde se integran los conceptos de la manufactura esbelta y en el cual se hace énfasis en la eliminación de la producción en lotes eliminando los desperdicios del sistema de producción, su principal característica como su nombre lo indica es que exista una sola pieza de producción por estación, y en todas las estaciones de trabajo. (Fig 6)

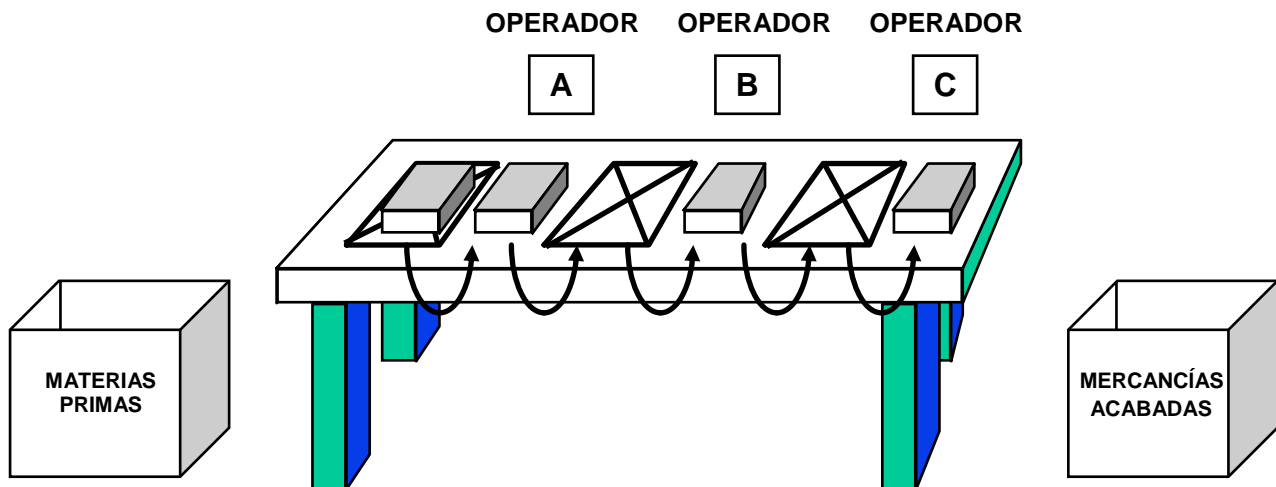


Figura 6. Cada operador tiene una sola pieza en su estación de trabajo, la decisión de empezar a trabajar su pieza es si el proceso siguiente tiene su punto de entrada de material vacío. (Honeywell, 2000)

Esto reduce el inventario al mínimo, cuando el flujo de una sola pieza se realiza basado en un trabajo estándar, se puede apreciar el flujo del producto prácticamente ininterrumpido, eliminando así los tiempos de espera y el inventario estacionado.

## Kanban

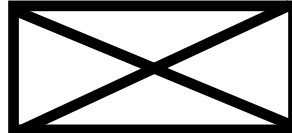
Para comprender al sistema de manejo de materiales Kanban, es necesario comprender el concepto del sistema jalar o pull system. El sistema jalar es el sistema donde la producción es activada de manera visual, esto sucede cuando nuestro cliente interno o externo "jala" uno de nuestros productos para su utilización, en ese momento debemos de "jalar" nosotros material de nuestro proveedor y empezar a trabajar para reponer la pieza producida anteriormente, una vez que reponga la pieza debo de parar de trabajar.

Podemos describir al Kanban como:

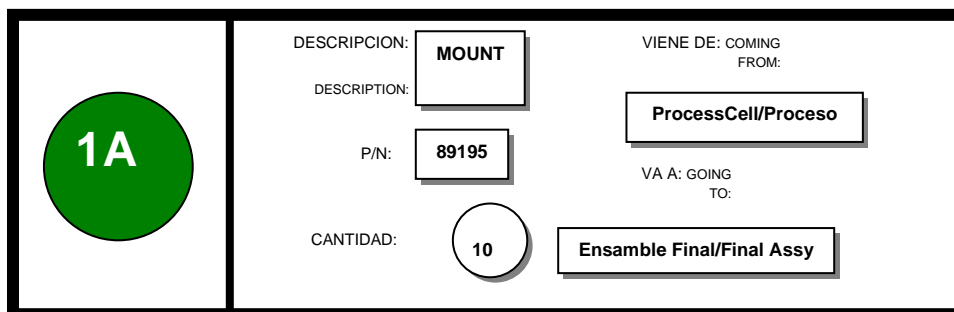
- Kanban es la herramienta adecuada para la fabricación repetitiva.
- Kanban es un sistema de demanda.
- En un sistema Kanban la situación ideal para minimizar costos es la repetitividad.
- Kanban es simplemente un sistema visual.
- Kanban transfiere la propiedad y responsabilidad del inventario al piso de producción.
- El objetivo del Kanban es eliminar situaciones indeseadas en el sistema de manejo de material tradicional como lo es cortos de material y sobre inventarios.

Para el uso de señales visuales en el Kanban tenemos dos tipos típicos:

1. Kanban en proceso ~ una señal visual para ajustar el movimiento de los productos en un proceso de fabricación por flujo. La señal visual indica que el proceso siguiente está requiriendo ser resurtido, lo que activa la producción del proceso anterior (figura 7)



2. Kanban de materiales ~ una señal visual para reponer los materiales consumidos en el proceso de producción ajustada.



En el caso de Kanban en proceso Se permite a los empleados tener como máximo una unidad de cada uno de sus Kanbans en proceso más una unidad en su estación de trabajo. Aquí se integran los conceptos de flujo de una sola pieza y trabajo estándar para poder operar el sistema de Kanban en proceso.

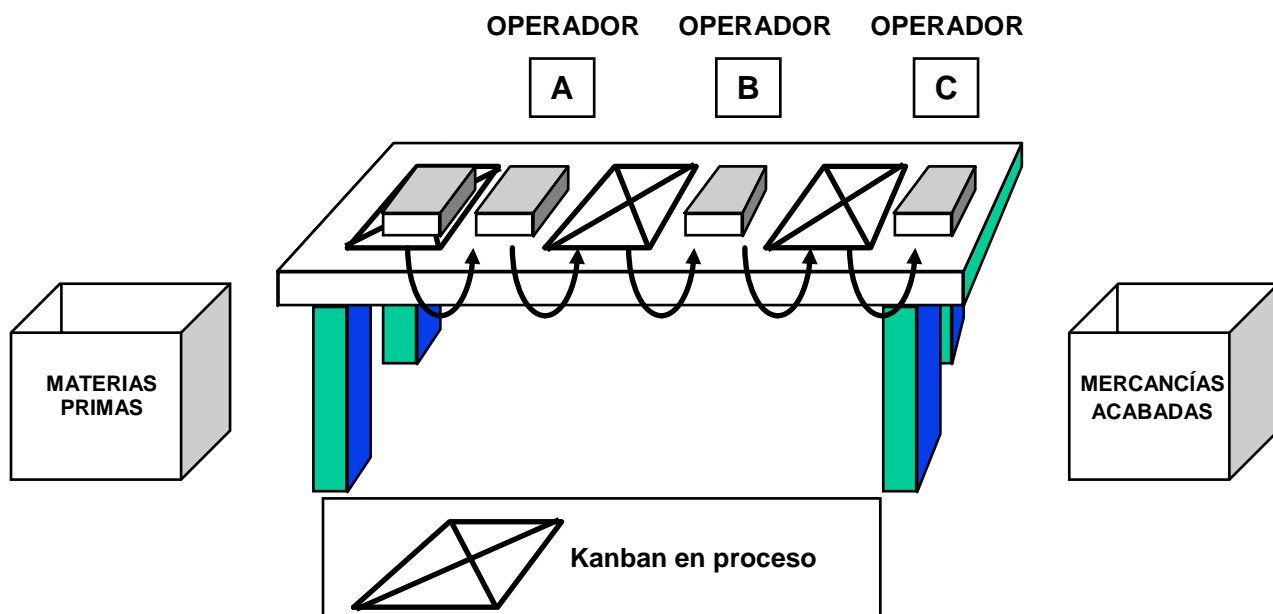


Figura 7. (Honeywell 2000)

En el caso del Kanban de Materiales se tienen tres tipos: Kanban de proveedor, Kanban de Producción y Kanban de Movimiento.

1. El Kanban de Proveedor (Figura. 8) es el que controla el reorden de material entre la planta y sus proveedores. El material se encuentra en contenedores junto con la tarjeta de kanban, la cual contienen toda la información necesaria para el resurtido de material (Figura 9). Al momento que el contenedor se encuentra vacío, la tarjeta de kanban es recogida para mandar la señal al proveedor de que se requiere el suministro de material (Figura 10), esta señal puede ser electrónica o por la vía que se ha acordado previamente con el proveedor, la tarjeta es llevada al área de recibo de material donde espera a que el

material sea entregado por el proveedor, una vez que el material es recibido, se le anexa su tarjeta de kanban, la cual lo acompañará nuevamente hasta que sea consumida la totalidad del contenedor y se inicie nuevamente el ciclo de requerir material al proveedor.

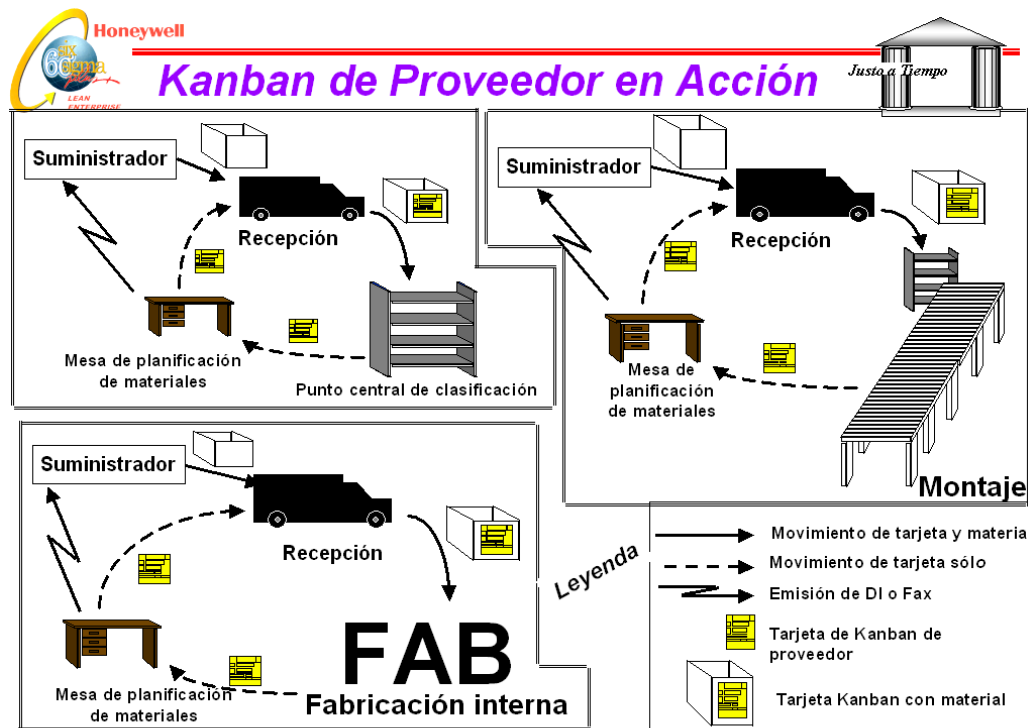


Figura 8 Kanban de Proveedor (Honeywell International Inc. 2000)



Fig. 9 Material en contenedores con su tarjeta de Kanban (Honeywell Aerospace de México. 2000)



Fig. 10 Punto de reorden de material (Honeywell Aerospace de México. 2000)

2. El Kanban de Producción (Figura 11). Es el sistema que controla la fabricación de componentes dentro de la planta, enlaza el consumo de las celdas usuarias y las celdas de fabricación. Las celdas usuarias tienen el material en contenedores identificados con una tarjeta de kanban (figura 12), al ser consumido el material la tarjeta es enviada a la celda de fabricación del componente y esta es la señal visual para la celda de fabricación que hay que reponer material (figura 13), esta lo produce y lo envía a

la celda usuaria en un contenedor identificado con su respectiva tarjeta de Kanban. Es aquí donde la celda usuaria inicia el consumo del componente iniciando así nuevamente el ciclo.

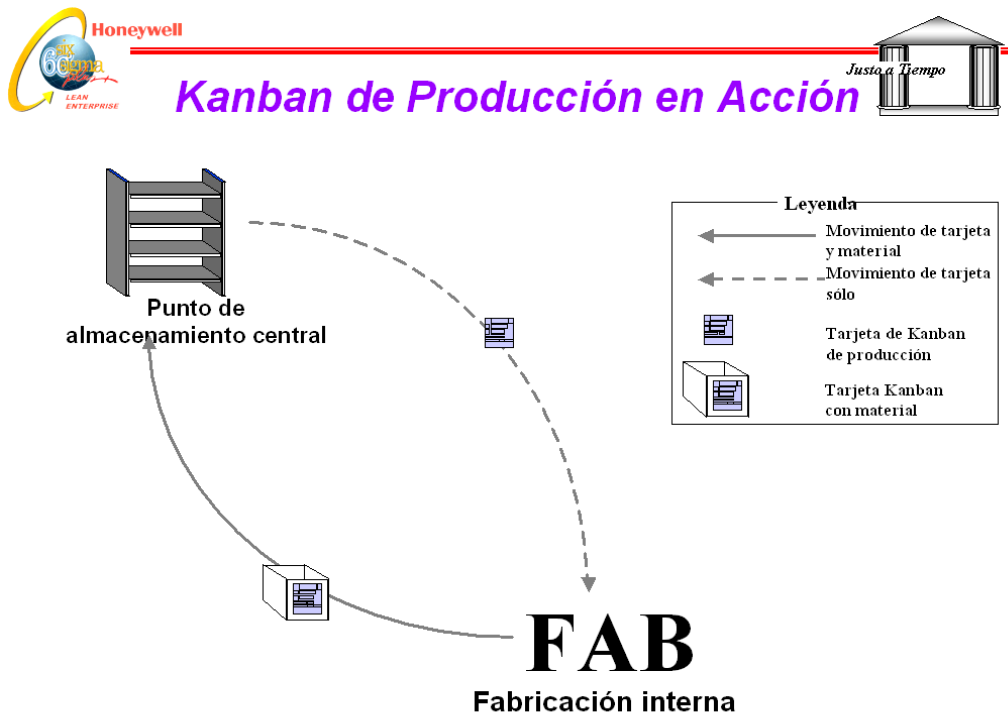


Figura 11, Kanban de Producción (Honeywell International Inc. 2000)



Fig. 12

Figura 12. Punto de entrada a la celda de fabricación (Honeywell Aerospace de México, 2002)

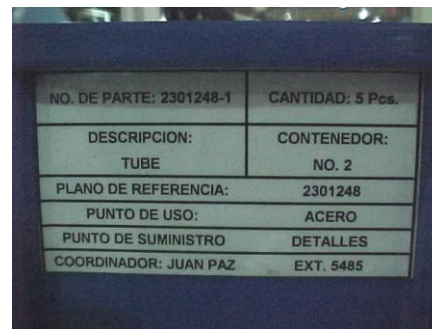


Fig. 13

Figura 13. Tarjeta de Kanban integrada al contenedor (Honeywell Aerospace de México, 2002)

3. Kanban de Movimiento (Figura 14). Es el sistema que controla el movimiento de material dentro de la planta. Es muy similar al Kanban de producción, solo que este se da entre un punto de almacenamiento y una celda usuaria del componente. Cuando es requerido reponer material a un punto usuario desde un almacén, la tarjeta de kanban viaja al almacén y este surte el material junto con la tarjeta de kanban a la locación establecida en la tarjeta. Este kanban es solo para controlar el movimiento de material entre almacenes y puntos de uso.

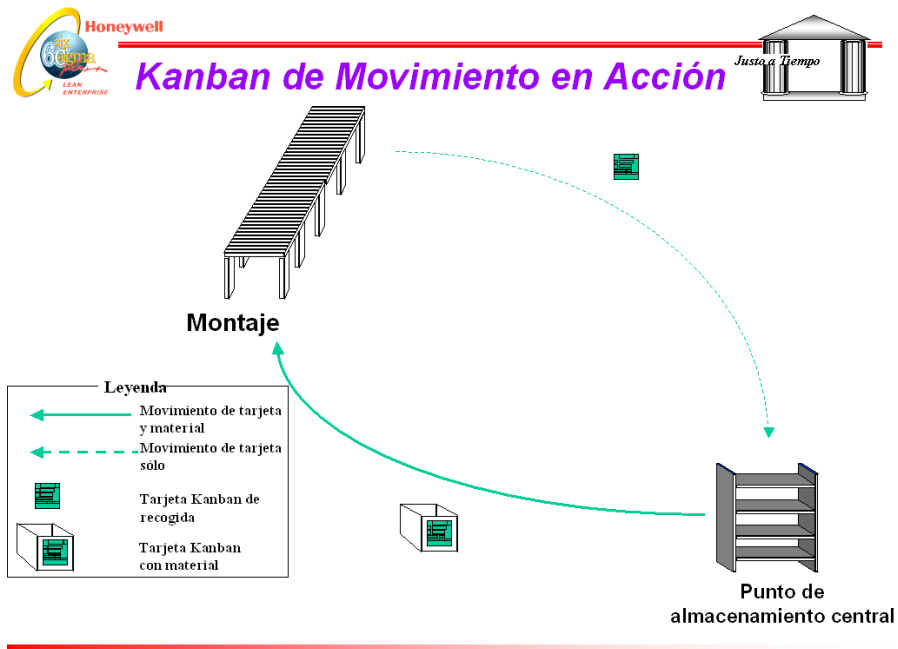


Figura 14 (Honeywell International Inc 2000)

Reglas para el funcionamiento del Kanban:

- Un proceso recoge piezas de uno precedente utilizando sólo el Kanban.
- El proceso anterior fabrica piezas en la cantidad y el orden dictado por el Kanban.
- Nada se fabrica o transporta sin un Kanban.
- Las tarjetas Kanban acompañan siempre a las piezas en sí.
- El número y tamaño de cada Kanban deberá reducirse con el tiempo.
- No reaprovisionar hasta que el Kanban esté vacío.

Pasos para la implantación interna:

- Definir la demanda semanal de producción
- Definir cantidades de material
- Definir frecuencias de surtido
- Diseñar sistema de señalamiento.
- Entrenamiento y Aprendizaje (Para todos los que se relacionen con un Kanban, y también para la dirección)
- ¡Implantación!

Formula del Kanban:

$$\text{Cantidad en contenedor} = \frac{\text{Demanda promedio} * (1 + \text{factor de seguridad}) * \text{Tiempo de surtido}}{\text{Número de Kanbans}}$$

Donde:

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{(\text{demanda mayor} - \text{demanda promedio})}{\text{demanda promedio}}$$

Diagrama de flujo para planear el Kanban (Figura 15).

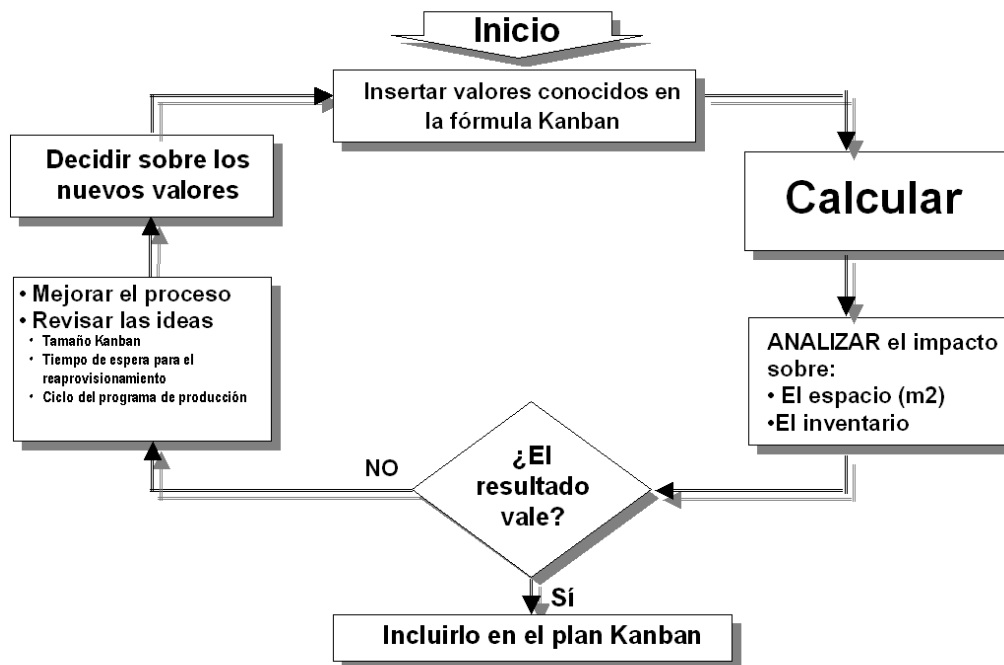


Figura 15. (Honeywell International Inc. 2000)

Medidas de rendimiento del Kanban:

- Entregas a tiempo a los clientes
- Mejoras de calidad (PPM)
- Productividad (Más producción con la misma mano de obra)
- Inventario en \$ del trabajo en proceso
- Inventario en \$ comprado
- Inventario en \$ de mercancías terminadas
- Consumo de espacio de suelo \$/pie cuadrado

Podemos resumir que el sistema Kanban tiene un valor considerable al reducir el inventario al mínimo y regular el flujo de material proporcionando un control visual para realizar estas funciones con precisión. Los sistemas Kanban se pueden implementar con éxito sólo en plantas donde se realiza una producción repetitiva ya que los sistemas Kanban no son aplicables a producciones de “uno de cada tipo” basadas en pedidos infrecuentes o impredecibles. El tipo de sistemas que más se beneficiará, probablemente, de Kanban es aquel que trabaja con piezas que utilizan procesos comunes.

## Modelos Mixtos (Mix Models)

El objetivo de un análisis de modelos mixtos es el de poder analizar el proceso de planeación de producción y la demanda del cliente para formular estrategias para administrar la demanda en una celda de producción con variedad de productos.

Los factores que se involucran son:

Análisis de capacidad, balanceo de línea, habilidades de los operadores, ciclos de demanda, tiempos de ciclo de operaciones, tiempos de setup y requerimientos de calidad.

El primer paso para un análisis de modelos mixtos es realizar un P-Q Analysis (análisis de partes y cantidades) Figura 16. En el cuál se identifican tres grupos de partes A, B y C. Graficando los productos y su demanda en una gráfica de pareto, los productos A son aquellos que cubren el 80 %, los productos B cubren el siguiente 15 % y los productos C el 5 % restante.

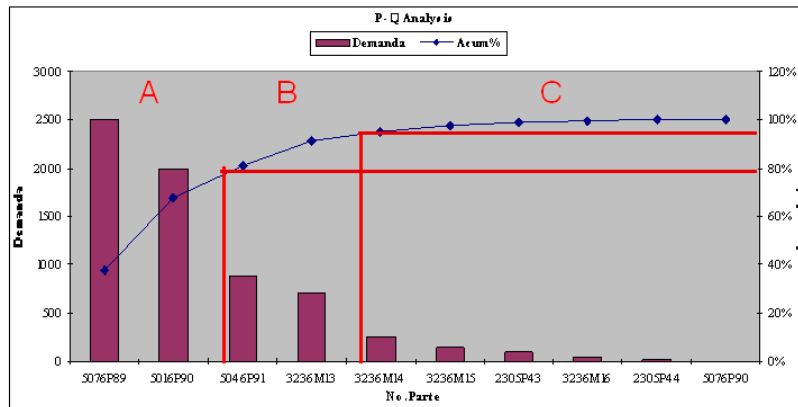


Figura 16. Clasificación de partes según P-Q Analysis (Honeywell International Inc. 1999)

Los productos A se fabrican en celdas dedicadas, los productos B se fabrican en celdas con mezclas de modelos (mix model) y los productos C, se fabrican en celdas de tipo taller o artesanal.

Al programar la producción en las celdas con modelos mixtos se debe considerar dentro del cálculo de capacidad el tiempo por cambio de modelo. Por medio de comprimir tiempos de cambios de producción (SMED) y de correr con lotes pequeños, se es capaz de responder a la demanda más rápidamente, y los inventarios de los supermercados pueden ser reducidos proporcionalmente.

Por ejemplo, si tenemos la siguiente demanda mensual de productos:

Demanda Mensual	
Tipo	Cantidad
A	5000 unidades
B	2000 unidades
C	2000 unidades

<b>D</b>	<b>500 unidades</b>
<b>E</b>	<b>500 unidades</b>
<b>Total</b>	<b>10000 unidades</b>

Si transformamos a demanda diaria y dividimos las demandas diarias entre la mínima, obtendremos cuantas veces tenemos que correr lotes del tamaño estándar menor

Tipo	Cantidad diaria	Proporción
A	250 / 25	10
B	100 / 25	4
C	100 / 25	4
D	25 / 25	1
E	25 / 25	1
	Sumatoria	20

Al dividir la sumatoria entre la proporción de cada modelo obtenemos el intervalo en que se debe de producir cada una de las partes

Tipo	Cantidad diaria	Sumatoria/ proporción	Intervalo
A	250	20 / 10	2
B	100	20 / 4	5
C	100	20 / 4	5
D	25	20 / 1	20
E	25	20 / 1	20

De tal manera que se si se fabrican lotes de 25 de cada parte, en un día podríamos tener la siguiente secuencia de producción. En dado caso los tiempos de cambio de modelo permitieran producir lotes mas pequeños que 25, se tendría que hacer el mismo procedimiento con el nuevo tamaño estándar de lote.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	B	A	C	A	B	A	C	A	D	A	B	A	C	A	B	A	C	A	E

Este el resultado final de la programación de modelos mixtos.

### Heijunka

El sistema de Heijunka, es principalmente utilizado donde más de un tipo de productos compiten por la prioridad para ser procesados en algún monumento. El sistema de Heijunka permite hacer una programación sobre el turno y la proporción de turnos que tendrá dicho grupo de partes en el monumento.

Podemos definir Heijunka como:

- Palabra Japonesa para “orden tranquila”
- Significa uniformizar la producción.
- Heijunka puede ser un programa en pizarrón, una caja de órdenes, una persona, o un plan.
- En un sentido amplio incluye todas las actividades alrededor de uniformizar y secuenciar la demanda  
En base a la demanda se puede establecer la proporción de uso que requiere cada familia de producto por ejemplo:

Familia	Demanda	Proporción
A	60	60%
B	20	20%
C	20	20%

Por lo que 3 de cada 5 productos a procesar serán de la familia A, 1 de cada 5 será B y 1 será C. Con esta proporción se designa la secuencia con la que el monumento procesará las partes.

Secuencia:

A	B	A	C	A	A	B	A	C	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

El supervisor de la familia de producto A tiene la posibilidad de manejar la prioridad de sus partes dentro de los casilleros que le corresponden, mas no así a hacer uso de casilleros que no le corresponden, de esta manera el servicio prestado por el monumento es equitativo para las áreas, y tiene un cierto grado de flexibilidad para que los supervisores puedan manejar sus prioridades sin perjudicar a otras áreas. En algunos casos se pueden dejar casilleros comodines donde el gerente de producción puede asignar partes especiales de ser necesario.

## SMED

SMED es el nombre que se le da al Single Minute Exchange of Dies, que en español se interpreta como “Cambios rápidos de herramientas”. El SMED es una teoría y conjunto de técnicas que hacen posible realizar las operaciones de cambio de setup, herramientas y preparación de máquinas en menos de 10 minutos. Sin embargo es importante señalar que puede no ser posible alcanzar el rango de menos de 10 min. para todo tipo de preparaciones de máquinas, pero SMED reduce dramáticamente los tiempos de cambio de setup en casi todos los casos.

Actualmente los clientes desean una amplia variedad de productos en cantidades imitadas de cada uno, esperando elevada calidad, buen precio, y entregas rápidas. El SMED nos ayuda a cumplir con estas expectativas.

Los beneficios que las empresas obtienen al implementar el SMED son los siguientes:

- Aumenta la flexibilidad.
- Reduce los tiempos de entrega.
- Aumenta la productividad de las áreas.
- Los cambios de setup más simples, hacen más seguras las preparaciones de las máquinas.
- Menos acumulamiento de material y producto terminado en el área de trabajo.

- Las herramientas, útiles y plantillas de los setups se estandarizan y combinan por lo que se manejan menos elementos.

El primer paso para implantar el SMED es entender el concepto de setup.

Operaciones de Setup: son operación de preparación incluye las tareas de preparación y ajuste que se realizan antes y después de procesar cada lote. Las operaciones de setup pueden clasificarse de dos tipos:

SETUP INTERNO: Incluye los setups que sólo pueden hacerse estando la máquina parada. Por ejemplo, en una prensa solo puede montarse un nuevo dado estando parada.

SETUP EXTERNO: Esta clase de setup incluye las tareas que pueden hacerse con la máquina en funcionamiento. Por ejemplo retirar o traer el siguiente dado.

Las operaciones de setup que se mejoran a través del SMED se componen de 4 pasos, cualquiera que sea el tipo de equipo o de operación. Estos 4 pasos son:

- 1.- Preparación, ajustes posteriores al proceso, chequeo de materiales y herramientas.
- 2.- Montaje y desmontaje de cuchillas, útiles, y piezas.
- 3.- Mediciones, montajes y calibraciones.
- 4.- Serie de ensayo y ajustes.

En un setup tradicional, en el que no se ha aplicado SMED, estos pasos generalmente requieren las proporciones del tiempo total de preparación que se puede ver en el siguiente cuadro:

Pasos en Preparación	Proporción del tiempo que consumen antes del SMED
Preparación, ajustes posteriores al proceso, chequeo de material y herramienta	30%

Montaje y desmontaje de cuchillas, útiles y piezas	5%
Mediciones, montajes y calibraciones	15%
Serie de ensayo y ajustes	50%

Shingo (1990)

1. Preparación, ajustes posteriores al proceso, chequeo de materiales y herramientas:

Este paso verifica que todas las piezas, plantillas y herramientas están donde deben estar y que funcionan apropiadamente. Este paso incluye también el periodo posterior al proceso en el que todos los elementos se retiran y devuelven a su punto de almacenaje, la maquinaria se limpia, etc.

2. Montaje y desmontaje de cuchillas, útiles y piezas:

Este paso incluye la retirada de piezas, útiles y herramientas después de procesar un lote, y el montaje de útiles, herramientas y piezas para el lote siguiente. Generalmente la máquina debe estar parada para realizar este paso, de modo que se trata de preparación interna.

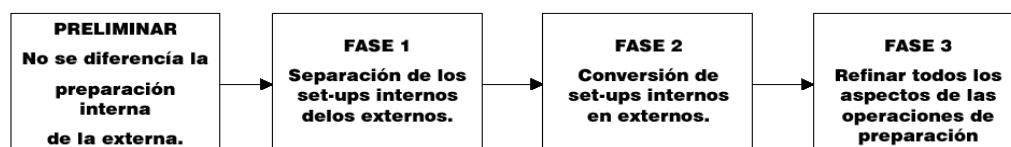
3. Mediciones, montajes y calibraciones:

Este paso incluye las mediciones y calibraciones que deben hacerse con el fin de realizar una operación de producción, tales como el centrado, dimensionamiento, las mediciones de temperatura ó presión, etc.

4. Serie de ensayos y ajustes:

En el paso final de una operación de setup tradicional, los ajustes se hacen después de que se procesan una o más piezas de prueba. Los ajustes serán más fáciles, cuanto más precisas sean las mediciones y calibraciones del paso anterior.

Fases del SMED. (Figura 17)



## Fases conceptuales del SMED y técnicas prácticas

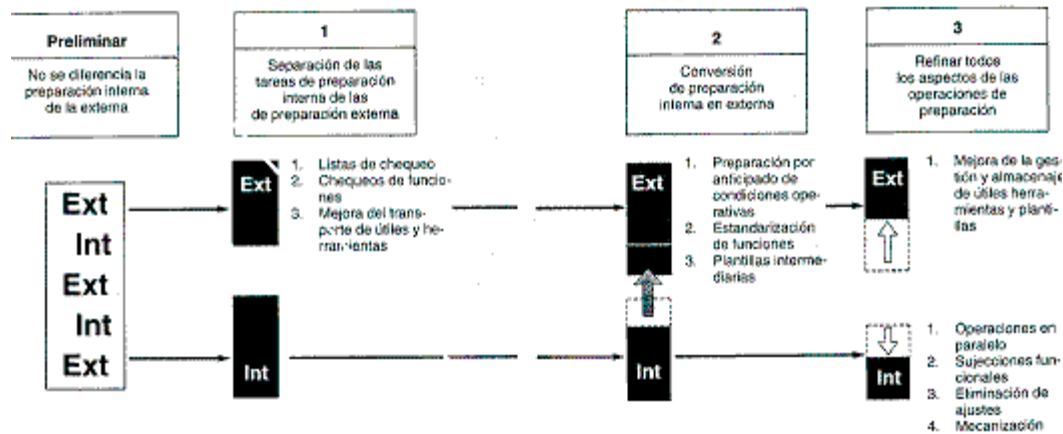


Figura 17. (Shingo, 1990)

### FASE 1

Separación de setups internos y externos. En esta fase, se separan las tareas que pueden realizarse mientras la máquina está aún en funcionamiento de las que se tienen que realizar con la máquina parada.

Existen 3 técnicas que nos ayudan a llevar a cabo la fase 1

#### •Listas de chequeo:

Relacionan a todos los elementos que se requieren para preparar un equipo y hacer funcionar la siguiente operación. El chequeo de los conceptos de la lista antes de que pare la máquina ayuda a evitar omisiones y errores que de otro modo habrían dificultado y retrasado las tareas una vez comenzada la preparación interna. Es muy importante crear una lista de chequeo específica para cada máquina u operación.

#### •Chequeos de funciones:

Le indica si todos los elementos necesarios están en perfecto orden de trabajo. Los chequeos de funciones deben hacerse sensiblemente antes de que comience la preparación, de modo que puedan hacerse reparaciones ó rectificaciones si algo no funciona correctamente, antes de detener el equipo.

#### •Mejora del transporte de piezas y herramientas:

Para acortar sustancialmente el tiempo de parada de las máquinas, el transporte de las piezas, herramientas y útiles debe hacerse durante la preparación externa, éstos deben transportarse antes de que la máquina se pare para el setup. Asimismo se deben retirar del área hasta que ésta arranque el proceso del siguiente producto.

## FASE 2

Conversión de setup's internos en externos. Durante la fase 2 del SMED, se realiza una reducción adicional de los tiempos de setup, identificando las operaciones que se consideran como setup internos y convirtiéndolos en setup externos. Como parte de esta fase se llevan a cabo 2 pasos, que nos ayudarán a reducir los tiempos:

- Observar las verdaderas funciones y propósitos de cada operación.
- Encontrar modos de convertir los setups internos en externos.

Existen 3 técnicas prácticas que ayudan a convertir los setups internos en externos:

- Preparación por anticipado de las condiciones de operación.

Significa conseguir que los útiles, plantillas, herramientas, elementos y condiciones necesarios (presión, temperatura, ó posición de material) estén listos antes de empezar las tareas de preparación interna.

- Estandarización de las funciones esenciales.

La estandarización de las funciones, es un enfoque en las funciones esenciales para realizar el setup, y trata de igualar estas condiciones con la finalidad de reducir tareas de setup interno, como ajustes, centrados, dimensión amientos etc. Para llevar a cabo la estandarización se siguen 2 pasos básicos, que son:

- 1.- Observar cuidadosamente cada función individual del proceso de preparación y decidir que funciones pueden estandarizarse.
- 2.- Observar de nuevo las funciones y pensar sobre como puede aumentarse la eficiencia reemplazando el menor número de elementos posible.

“El modo más rápido de reemplazar algo es no reemplazar absolutamente nada”

- Uso de plantillas intermediarias.

Las plantillas intermediarias son placas ó monturas de dimensiones estándares que pueden retirarse de la máquina. Mientras el dado montado sobre una de esas plantillas se está usando en la máquina, el siguiente dado se esta montando y centrando en otra plantilla, cambiando este setup interno en externo.

### FASE 3

Refinar todos los aspectos del setup. En esta fase se mejoran todas los setups internos y externos remanentes. Se hace esto observando cuidadosamente la función y propósito de cada elemento específico de la preparación. De igual forma, éstas prácticas de mejora se dividen en setups internos y externos.

#### Refinamiento del setup externo:

Básicamente este refinamiento incluye el mejorar los métodos de almacenaje y transporte de los elementos necesarios para llevar a cabo el setup. Para lograr este refinamiento, es necesario hacerse los siguientes cuestionamientos:

- ¿Cuál es el modo mejor de organizar todos los elementos?
- ¿Cómo podemos tener todos los elementos mantenidos en perfectas condiciones y listos para la operación siguiente?
- ¿Cuántos de estos elementos hay que mantener en stock?

#### Refinamiento del setup interno:

Esta es la parte más larga de la fase 3, ya que su desarrollo incluye:

- Realización de operaciones en paralelo.
- Uso de fijaciones funcionales.
- Eliminación de ajustes.
- Mecanización.

### Poka Yoke

El término Poka Yoke lo podemos traducir como a prueba de errores. El uso de sistemas Poka Yoke se basa en un enfoque organizado hacia un método de “sentido común” para eliminar los defectos. A prueba de errores” es una filosofía que: Reconoce que la gente tiene olvidos y comete errores, además de que usa ideas y métodos de sentido común (prueba de errores) en el diseño de procesos y productos para eliminar errores humanos y mecánicos.

Por que no pensar en una producción 100% libre de defectos si los clientes piden productos libres de defectos al 100%. De antemano sabemos que la inspección del 100% no proporciona productos libres de defectos al 100%. Si queremos además ser competitivos, debemos atacar los costos que nos generan los errores continuos (Scrap, retrabajo y fechas sin cumplir).

A menudo los errores humanos pasan desapercibidos. Los dispositivos a prueba de errores nos ayudan a evitar los defectos, incluso cuando se producen errores no detectados. La prueba de errores nos ayuda a añadir calidad al proceso. De antemano sabemos que cualquier tipo de error que cometan las personas se puede reducir o incluso eliminar. Las personas cometen menos errores si están apoyadas por un sistema de producción basado en el principio de que los errores se pueden prevenir siempre.

Para crear un sistema de trabajo que prevenga los errores, es necesario reconocer las causas de errores, entre las más comunes podemos mencionar:

- Omisiones de procesamiento
- Errores de procesamiento
- Error al preparar el lugar de trabajo
- Omisiones en el montaje (faltan piezas)
- Inclusión de una pieza o elemento erróneos
- Trabajo erróneo
- Errores en las operaciones
- Errores de ajuste, medida o dimensiones
- Error en el mantenimiento del equipo
- Error en la preparación de cuchillas, herramientas o dispositivos

Estas causas de errores provocan diferentes tipos de defectos entre los que podemos mencionar:

- Fugas
- Mal cableado
- Piezas sueltas
- Ruido
- Producto o piezas dañadas
- Producto o piezas invertidas
- Existe un material extraño
- Piezas mal montadas
- Piezas desalineadas
- Dimensionalidad errónea o incoherente
- No se puede montar
- Resultados incoherentes en las pruebas o fallo en ellas
- Material entrante malo
- Piezas o materiales erróneos

Entre los principales dispositivos a prueba de error podemos encontrar:

- Pasadores guía de diferentes tamaños
- Detección de errores y alarmas
- Conmutadores de límite
- Contadores
- Lista de comprobación
- Sensores

Aunque también podemos mencionar algunos principios para la eliminación de errores.

1. Eliminar la condición que genere el defecto
2. Reducir las distancias de ajuste
3. Rediseñar con asimetría

Un ejemplo del uso de estos dispositivos lo podemos encontrar en el siguiente ejemplo de montaje de circuitos integrados, donde las cajas están montadas sobre circuitos integrados, antes de la mejora era difícil saber, por la apariencia externa de la caja, en qué dirección se iba a montar (Figura 18).

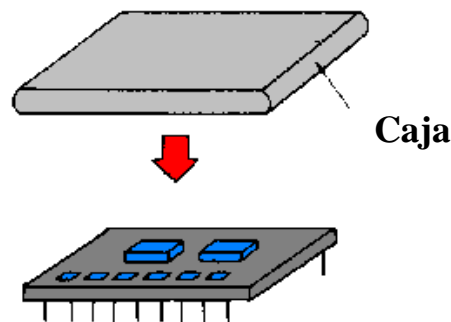
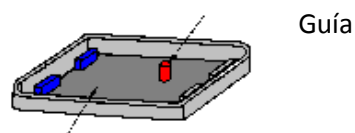


Figura 18 (Nikkan Kogyo, 1987)

Para solucionar esta situación, Se colocó una guía en el interior de la caja como pasador de interferencia para impedir que la caja se montara al revés (Figura 19). se logró una precisión del 100% en el montaje de las cajas.

La Guía choca con una parte de los CI si la caja se monta hacia atrás



Interior de la caja

Figura 19 (Nikkan Kogyo, 1987)

Otro ejemplo de diseñar con asimetría lo encontramos en los disquetes de 3 1/2", estos no se pueden poner de otra forma por que no los acepta la computadora (Figura 20).



Figura 20 (Honeywell International Inc, 1999)

## Ergonomía

Nuestros cuerpos tienen capacidades y limitaciones. Ergonomía es una herramienta para diseñar un trabajo que se ajuste a nuestras capacidades.

Los efectos de tener un pobre diseño en el trabajo son:

Respuesta operacional:

- Incremento del ausentismo
- Incremento de la rotación
- Incremento de los incidentes
- Incremento de situaciones de riesgo
- Incremento del retrabajo
- Decremento de la eficiencia
- Decremento de la calidad
- Decremento de la producción

Respuesta fisiológica:

- Fatiga
- Decremento del estado de alerta
- Decremento de la función mental
- Decremento de la coordinación

Entre los factores de riesgo que tenemos la postura, posición, repeticiones y frecuencia, Fuerza aplicada, el peso y la carga, si la carga es estática y el tiempo, herramientas, medio ambiente, etc.

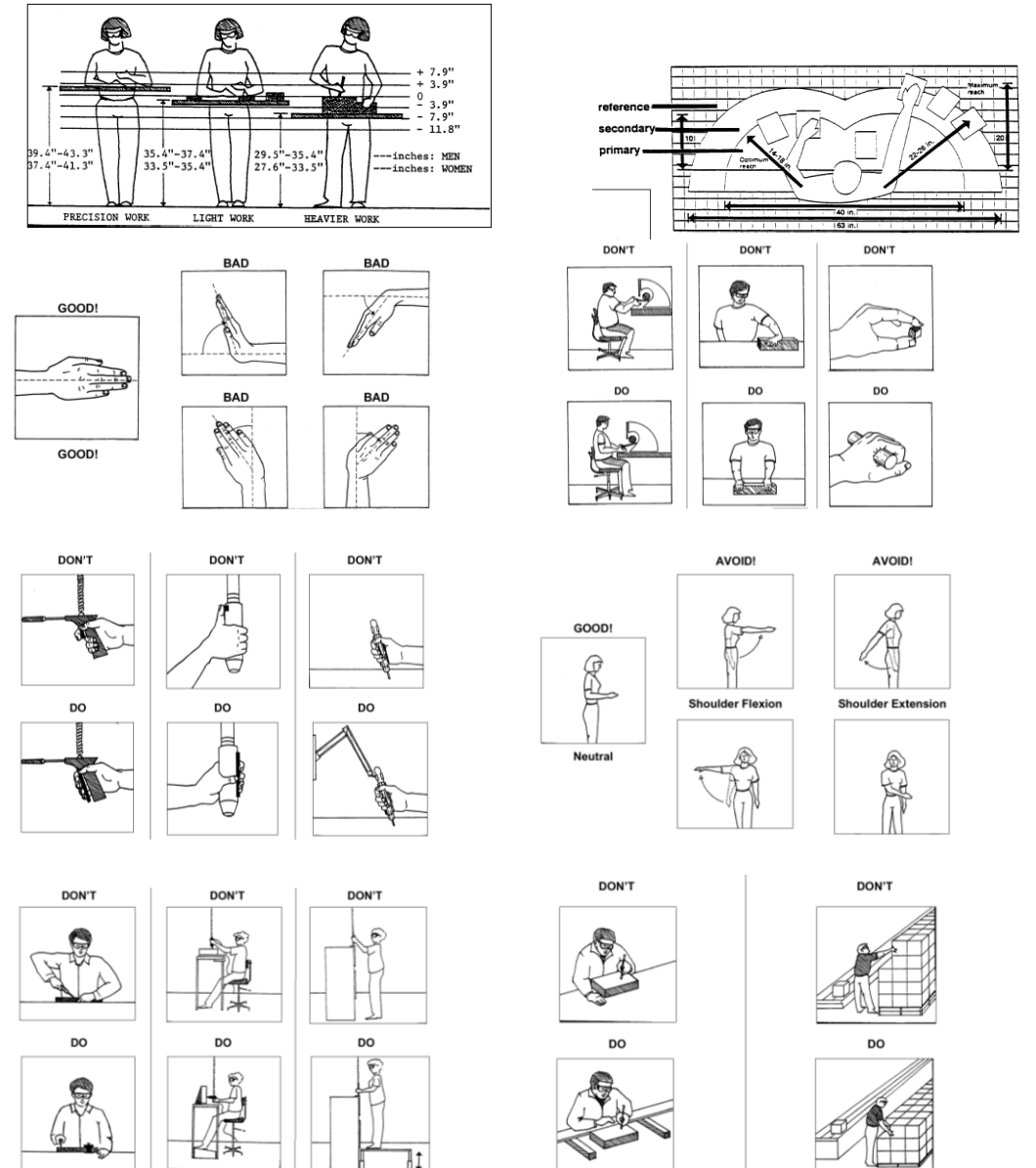
Es importante durante la organización del trabajo llevar a cabo una buena planeación de las actividades, involucrar al empleado, tener una buena comunicación entre los interesados y sobre todo construir un equipo comprometido con la ergonomía.

(Stewart & Associates, 1999)

Para lograr el diseño de un trabajo en base a las capacidades del cuerpo humano es importante seguir los siguientes principios:

- No mueva simultáneamente ambas manos o brazos en direcciones opuestas.
- Mueva el cuerpo lo menos posible.
- Para tareas ligeras es preferible mover manos y muñecas a mover hombros y brazos.
- Evite cambios bruscos en la dirección del movimiento o movimientos no restringidos
- Establezca un ritmo suave para el orden de los movimientos
- Minimice la necesidad de concentración mental lo mas que pueda y diseñe movimientos que puedan ser llevados con naturalidad

Recomendaciones diseño de trabajo en estaciones movimientos y posiciones del cuerpo. (Figura 21)



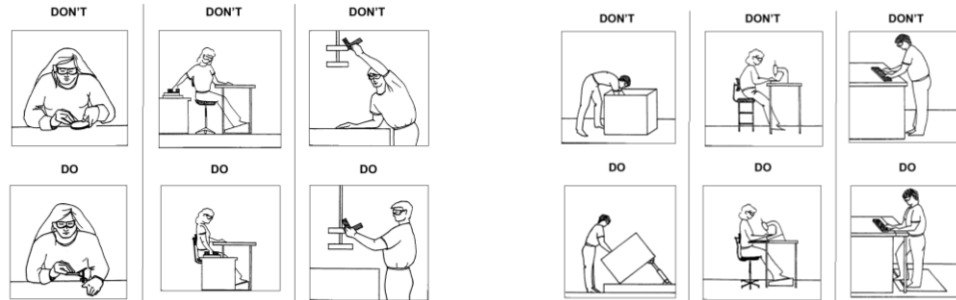


Figura 21 (Honeywell International Inc. 1999)

## 2.2 Seis Sigma

### 2.2.1 Antecedentes.

La raíz de seis sigmas como una medida estándar podría ser encontrada desde que Carl Frederick Gauss (1777-1855) introdujo el concepto de la curva normal. Ahora seis sigma es una medida estándar para la variación de los productos y es identificada como tal desde los años 1920's cuando Walter Shewhart mostró que tres sigmas desde la media es el punto un proceso requiere corrección. Algunas otras medidas estandar como Cp y Cpk, vinieron mas tarde a la escena, pero el crédito del término seis sigma lo posee el ingeniero de Motorola llamado Bill Smith.

En el inicio de la década de los 80's los ingenieros de Motorola decidieron que los tradicionales niveles de calidad no proveían suficiente información. Por lo que empezaron a medir la calidad en defectos por millón de oportunidades. Motorola desarrollo este nuevo estandar y creo la metodología y el cambio cultural necesario asociado con la misma. Seis sigma ayudó a Motorola a obtener resultados impactantes en su organización. Desde entonces, cientos de compañías alrededor del mundo han adoptado a seis sigma como la forma de hacer negocios. Este es el resultado directo de líderes de compañías americanas han pregonado los beneficios de seis sigma. Líderes como Larry Bossidy de Allied Signal (ahora Honeywell) y Jack Welch de General Electric.

Seis Sigma con el tiempo ha dejado de ser solo un sistema de calidad como TQM o ISO, es ahora una manera de hacer negocios. Ref. 4 ISixSigma LLC, 2004

### 2.2.2. Introducción a Seis Sigma

Posiblemente la pregunta más desafiante en el mundo de los negocios no sea ¿cómo podemos ser exitosos? Sino ¿cómo podemos permanecer en el éxito? Hay una gran variedad de historia de

éxitos de compañías, que llegan al éxito y les toma unos cuantos meses en caer, o compañías que parece que están en ciclo repetitivo de caer, reorganizarse, levantarse y caer.

Muchas técnicas o filosofías han intentado dar una respuesta para romper con ese ciclo, tantas como nuevas compañías crecen y caen. Six Sigma pudiera parecer otra mas, pero analizándola mas de cerca encontramos una gran diferencia, Seis Sigma es un sistema flexible para la mejora de los negocios. Se conforma de las ideas más importantes y mejores prácticas del siglo pasado, creando una nueva fórmula para el éxito de los negocios del siglo XXI.

Evidencia del poder de la metodología Seis Sigma son las historias de gran éxito al utilizar Seis Sigma en la creación de nuevas estructuras dentro de una organización.

*“Seis Sigma ha cambiado para siempre a GE. Desde los defensores de la filosofía, ingenieros, auditores, líderes, científicos, que llevarán a la compañía al nuevo milenio “– John F. Welch Presidente de General Electric.*

\*Desde su arribo a la presidencia de GE, J.Welch ha urgido a sus líderes convertirse en lunáticos apasionados de Seis Sigma. Ha descrito el compromiso hacia Seis Sigma como “desmesurado”.

Podemos definir a Seis Sigma como un sistema flexible y comprensible para alcanzar sostener y maximizar el éxito de un negocio. Seis Sigma es guiado por un entendimiento cercano de las necesidades del cliente, el disciplinado uso de hechos, datos, análisis estadístico y una atención diligente a dirigir, mejorar y reinventar el proceso de negocios.

Podemos mencionar los principales logros al aplicar la metodología Seis Sigma:

- Reducción de costos
- Mejora en la productividad
- Crecimiento del mercado
- Retención de clientes
- Reducción del tiempo de ciclo
- Reducción de defectos
- Cambio en la cultura
- Desarrollo de productos y servicios

Se puede pensar que los conceptos de Seis Sigma son similares a los de los esfuerzos de Calidad Total en los últimos 15 o 20 años, de hecho, el origen de muchos de los principios y herramientas de Seis Sigma son fundados bajo la influencia de pensadores de la Calidad como W. Edwards Deming y Joseph Juran. En algunas compañías los términos Calidad y Seis Sigma van juntos. De alguna manera la expansión de Seis Sigma esta dada por renacer el movimiento de calidad.

Existen verdades ocultas dentro de Seis Sigma

Seis Sigma aglomera una gran cantidad de mejores prácticas de negocios y habilidades, que son un ingrediente esencial para el crecimiento, es mas que un método analítico basado en la estadística, el beneficio es que puede aplicar Seis Sigma a una gran variedad de actividades de negocios desde planeación estratégica, hasta operaciones, hasta servicio al cliente.

Hay muchos caminos dentro de Seis Sigma, seguir una receta de otra compañía es una garantía de fracaso, por la diversidad de situaciones, Seis Sigma ofrece una metodología ajustable a cada entorno, no fórmulas rígidas.

Las ganancias potenciales al aplicar Seis Sigma son igualmente significativas en actividades de servicio y actividades no manufactureras, así como en ambientes técnicos.

Seis Sigma trata acerca de la excelencia técnica y de personas. Creatividad, colaboración, comunicación, dedicación, son infinitamente superiores a la estadística. Seis Sigma puede inspirar y motivar mejores ideas y crear sinergia entre el talento de los individuos y experiencia técnica. (Mike J. Harry, 1998) Ref. 5

El modelo de Seis Sigma, es la base para la mejora de procesos, servicios y/o productos. Puede ser definida como un método, una medida o una filosofía.

#### Seis Sigma como Medida

- Nos permite conocer la variación y defectos de un proceso.
- Nos permite comparar los niveles de calidad de varios productos y/o procesos.
- Un nivel de Seis Sigma significa 3.4 defectos en un millón de oportunidades.

#### Seis Sigma como Metodología

- Nos ayuda a integrar y aplicar las herramientas de mejora continua en cualquier proceso.
- Nos ayuda a agilizar las mejoras en los procesos, productos y/o servicios

#### Seis Sigma como Filosofía

- El enfoque de Seis Sigma es reducir la variación (en todos los procesos existe variación). Así como eliminar los desperdicios basándonos en qué es importante para nuestros clientes.

La ecuación del proceso es fundamental para los métodos y conceptos de Seis Sigma. La ecuación representa al proceso con sus entradas (X's) y sus salidas (Y's).

Las Y's de un proceso están ligadas con los requerimientos del cliente y las X's están relacionadas con las entradas (6M's) (Figura 22), así tenemos la ecuación:

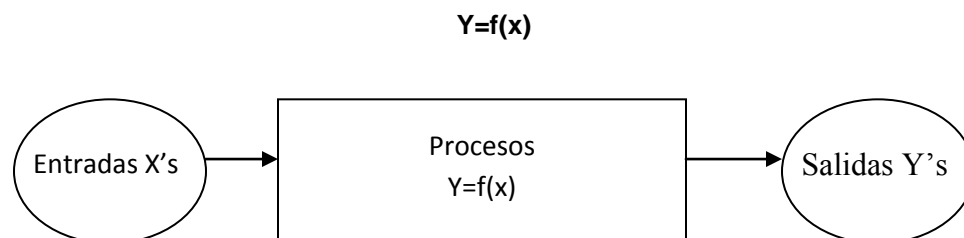


Fig. 22 Representación gráfica de un proceso

#### Entradas (X's) – 6M's

- |                |                  |
|----------------|------------------|
| • Mano de Obra | • Maquinaria     |
| • Material     | • Medición       |
| • Método       | • Medio Ambiente |

#### Salidas podrían ser:

- |                              |                                 |
|------------------------------|---------------------------------|
| • Metas estratégicas         | • Satisfacción del cliente      |
| • Requerimientos del cliente | • Eficiencia global del negocio |
| • Ganancias                  | • Prestigio                     |

Para tener bien claro el objetivo de un proyecto se tiene que identificar cual es la Y o Y's que estamos trabajando y entender el requerimiento que existe de ella, para asegurar el correcto enfoque al cliente.

Como base del desarrollo de un proyecto, es necesario clarificar las siguientes cuestiones:

- ¿Cómo enfocar el proyecto con las metas del departamento?
- ¿Cómo se alinea el departamento con las metas de la compañía?
- ¿Cómo se alinea la compañía con la visión del corporativo?
- ¿Cuáles serían las consecuencias para la compañía si no se lleva a cabo el proyecto?

### 2.2.3 Estadística básica para la mejora de procesos

Sigma ( $\sigma$ ) es el símbolo utilizado en estadística para representar la desviación estándar de una población. La desviación Estándar es el indicador de la variación o inconsistencia en cualquier grupo de artículos o procesos. La variación es un factor crítico. Con partes electrónicas o mecánicas complejas, la variación en el ancho o largo puede hacer que la parte falle o no pueda ser utilizada, o si una compañía le vende a otra con variación en su producto, puede ocasionar que el cliente tenga que aplicar un esfuerzo extra para poder hacer uso del producto, lo cual no agrega valor ante los ojos del cliente.

El objetivo es mantener 6 sigmas a cada lado de la distribución normal de nuestro proceso dentro de los límites de especificación del cliente.

El observar la variación ayuda a la gerencia a un mejor entendimiento del desempeño de un negocio y sus procesos. En el pasado, y en algunos lugares actualmente miden y describen sus esfuerzos en términos de "promedios": costo promedio, tiempo de ciclo promedio, tamaño promedio de embarque. Pero el problema es que los promedios pueden ocultar problemas. Por ejemplo, si se llega tarde al trabajo todos los días y llega un día muy temprano, el promedio puede ser bueno, pero la verdad es que existe un problema de desempeño.

Reduciendo la variación del proceso, podemos cumplir con lo que demanda el cliente consistentemente y lograr grandes ahorros para la compañía.

*"Una organización Seis Sigma es una organización que está trabajando para construir los temas y prácticas de Seis Sigma adentro de sus actividades gerenciales diarias, y muestra mejoras significativas en el rendimiento de sus procesos y satisfacción al cliente." John F. Welch*

Una de las herramientas más utilizadas para la mejora de procesos es la estadística. Existen algunos conceptos básicos de estadística que son constantemente utilizados dentro de la metodología seis sigma. Para empezar a hacer uso de esta herramienta, es necesario definir claramente cuál es el tipo de dato que estamos manejando. Existen los datos por atributos (cualitativos) como una clasificación si-no, pasa-no pasa, maquina 1-maquina2 etc. y los datos variables (cuantitativos) que pueden ser discretos o continuos como lo es el tiempo, presión, distancia, velocidad, etc.

Las técnicas estadísticas empleadas por seis sigma son mejor mente aplicadas a los datos cuantitativos continuos, en caso de no estar manejando estos datos, existen métodos para transformar datos discretos en continuos por métodos matemáticos.

En general lo que la estadística busca es en base a una muestra de la población, poder hacer inferencia sobre el total de la población.

Podemos ya sea de la muestra o de la población si se tienen los datos construir un histograma que nos muestre el tipo de distribución que siguen los datos. Podemos analizar la variación presente en el grupo de datos con tres medidas de variabilidad:

Rango: Es la distancia entre los valores extremos de un grupo de datos (mas alto – mas bajo).

Varianza: Es el promedio de la desviación al cuadrado de cada punto con respecto a la media.

Desviación Estandar: Es la raíz cuadrada de la varianza.

También podemos analizar la tendencia central para determinar lo centrado y ubicado de los datos. Las medidas de tendencia central son:

Moda: Es el valor que ocurre con mas frecuencia

Mediana: Cuando los datos hayan sido sorteados de mayor a menor o menor a mayor, la MEDIANA es el valor que se encuentra a la MITAD de la serie de datos.

Media: Es la suma de todos los valores dividido entre la cantidad de datos.

Uno de los fenómenos mas importantes al momento de analizar los datos de una población, es el impacto del tiempo en la variación, pues se ha demostrado que la variación cambia a través del tiempo en incrementos de  $\pm 1.5 \sigma$  (Figura 23). Ref. 6 (Richard D. Sanders 1994-5)

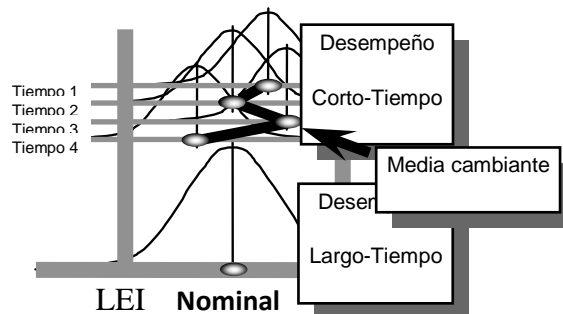


Figura 23 Cambio en la media del proceso en el tiempo (Honeywell International Inc. 2000)

### Introducción a la variación.

La variación en las características de un producto podemos decir que es igual a una función de la variación en los parámetros del proceso que lo produce,  $s=g(x)$  donde  $s$  representa la desviación estandar y  $x$  los parámetros del proceso. La variación se encuentra presente en dos estados: variación controlada y variación descontrolada. La variación controlada es caracterizada por un comportamiento consistente y estable a través del tiempo, asociada con causas comunes. La variación descontrolada es caracterizada por ser una variación que cambia a través del tiempo, asociado con causas especiales (Figura 24).

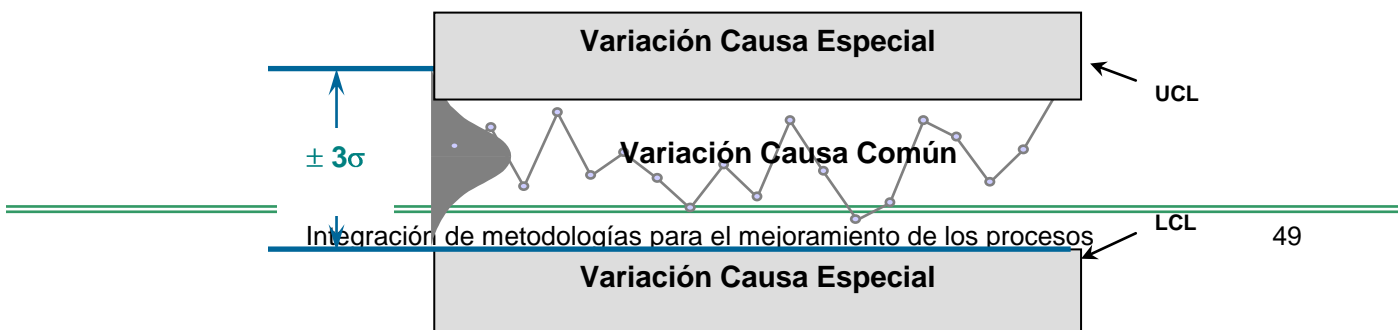


Figura 24. Zonas de variación común y Especial (Honeywell International Inc. 2000)

Los elementos de un proceso responsables de la variación han sido llamados las 6M's (por su nombre en inglés) que adecuadamente describen los elementos básicos de todos los procesos: hombre, máquina, material, método, medio ambiente, sistema de medición.

Cuando un proceso muestra un estado de control estadístico, el patrón de las mediciones mostrará una cantidad predecible y consistente de variación. Si nosotros construimos diferentes histogramas con las mediciones de este producto los histogramas mostrarán un patrón consistente (Figura 25).

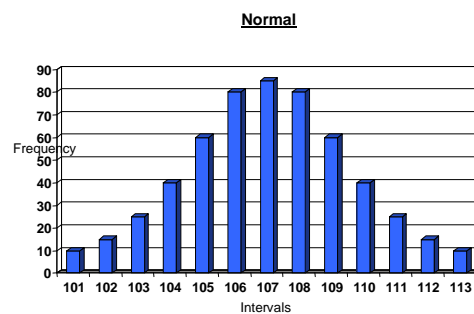


Figura 25. Histograma (Honeywell International Inc. 2000)

La variación de un proceso debe ser comparada contra las tolerancias de diseño ó límites de especificación (Figura 26). Existe un incremento de producto no conforme cuando el proceso no está centrado (cuando la media del proceso no coincide con la dimensión nominal de diseño).

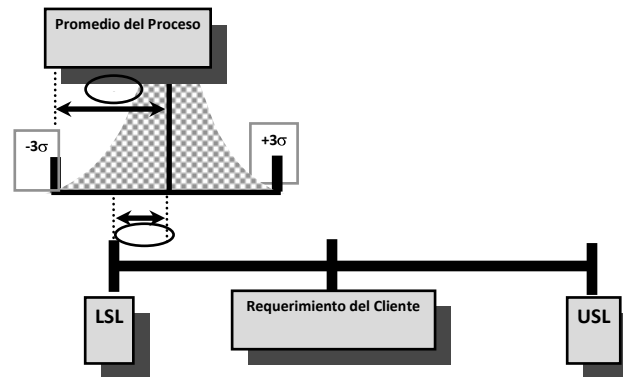


Fig 26. Comparación de la variación del proceso y los requerimientos del cliente (Honeywell International Inc. 2000)

Si sabemos que siempre existirá la variación en cualquier proceso, ¿por que no tolerarla? Nosotros podemos tolerar la variación de un proceso cuando esta variación es relativamente pequeña comparada con las especificaciones del proceso y además cuando esta variación es estable en el tiempo. Así como cuando el costo de reducir la variación es mayor ue el costo de la variación misma (Figura 27).

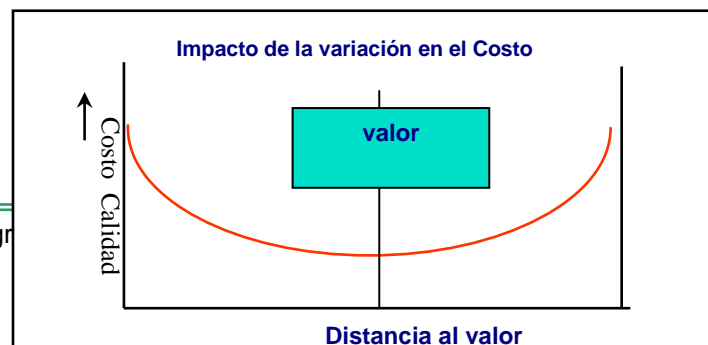


Fig 27 Gráfica de impacto de la variación en el costo (Honeywell International Inc. 2000)

Muchos de los procesos tienen un comportamiento descrito por una distribución normal. Una de las propiedades clave de la distribución normal es la relación entre la forma de la curva y la desviación estándar. 99.7% del área de la distribución normal se encuentra contenida entre  $-3$  y  $3$  sigmas a partir de la media (Figura 28).

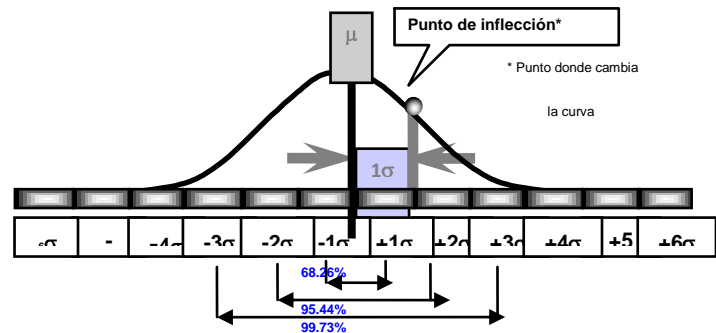


Fig 28. Curva de distribución normal (Honeywell International Inc 2000)

Suficiente 99%, que les parece un apagón de 7 horas al mes. Ref. 7(Thomas W. Nolan and Lloyd P. Provost) 1990

### Capacidad del Proceso

Es necesario evaluar lo bien que funciona un proceso en cumplir algún requerimiento (típicamente especificado por el cliente). Es necesario un indicador numérico de la habilidad del proceso en cumplir los requerimientos del cliente. El indicador se nombra capacidad del proceso. La información que nos dan gráficos de control se le nombra VOP (Voz del Proceso). Información del cliente (tal como límites de especificación y bandas de tolerancia) se le nombra VOC (Voz del Cliente). Capacidad del proceso mide como la VOP cumple con la VOC.

Capacidad de proceso es una manera de comparar variación de proceso (VOP) a la banda de tolerancia (VOC). Se usan dos estadísticas, Cp y Cpk. Cp compara el ancho de la banda de variación de proceso con el ancho de la banda de tolerancia. Cpk compara las dos bandas con respecto a lo centrado el proceso al valor nominal.

Cp compara variación de proceso a especificaciones.

Cpk compara el promedio del proceso al objetivo del cliente.

Cp: Entre más grande es el margen de especificación, menos son los rechazos. USL es el Límite Superior de Especificación y LSL el Límite Inferior de Especificación. El margen se mide con la Índice Capacidad de Proceso (Cp) (Figura 29).

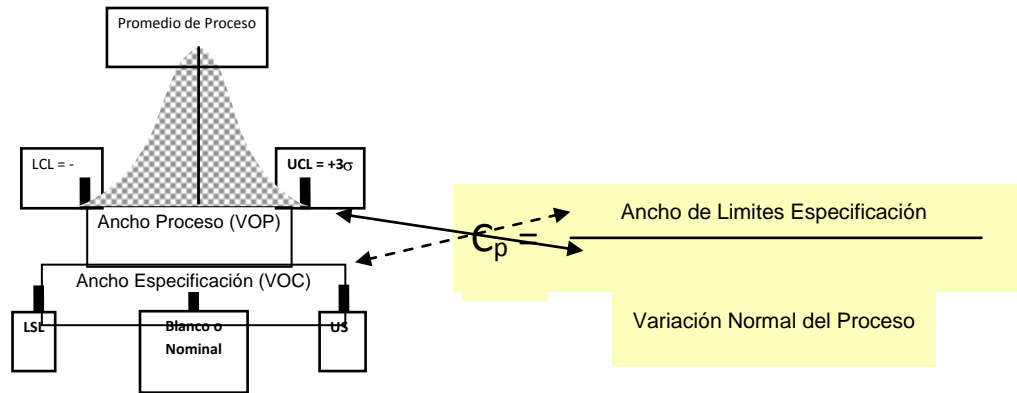


Figura 29 Calculo de Cp (Honeywell International Inc 2000)

El estándar de industria es 1.00 - el ancho de especificación es tan grande como la variación natural del proceso. El objetivo 6 Sigma es 2.00 - el ancho de la especificación es el doble de la variación del proceso.

$C_{pk}$ : Evalúa si el promedio del proceso esta centrado dentro de la especificación del cliente. Busca que valores sean  $>2.00$  - el promedio esta bastante adentro de los limites (Figura 30).

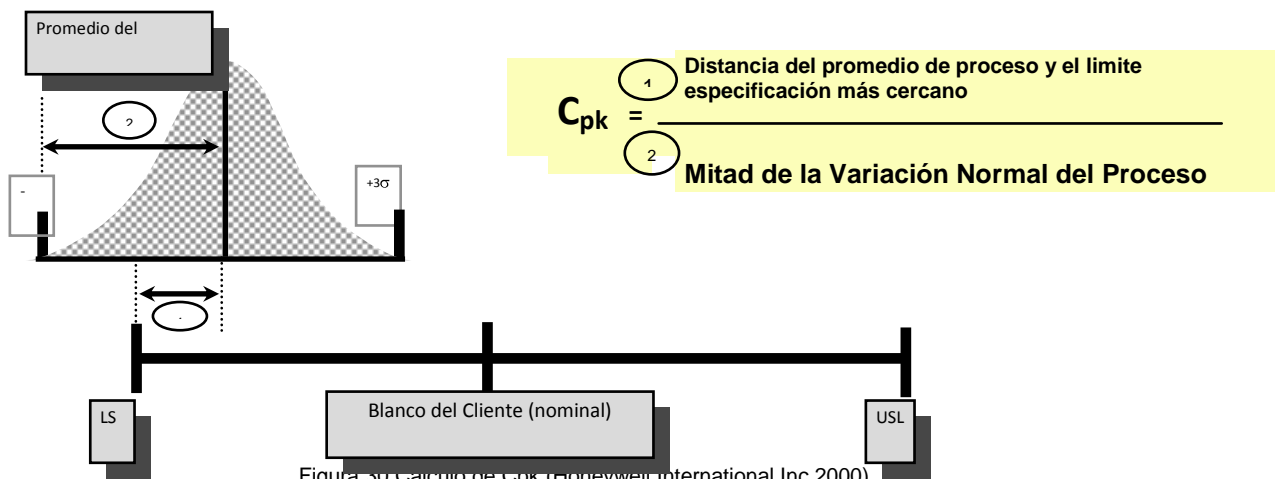


Figura 30 Calculo de Cpk (Honeywell International Inc 2000)

## 2.2.4 Metodología.

### Modelo de Mejora DMAIC

Existen muchos modelos de mejora, la mayoría de ellos están basados en los pasos dados por W. Edwards Deming: Planear, hacer, verificar y actuar.

Seis Sigma usa un ciclo de mejora continua de 5 etapas, Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar. (modelo DMAIC)

La fase de Definir es en la que se tienen que clarificar los requerimientos del cliente. Es fundamental esta etapa para asegurarnos que los esfuerzos que se realizarán serán apreciados por el cliente, ya sea interno o externo, así como delimitar muy bien el alcance de cada proyecto. La falta de definición nos lleva a tener una meta no clara, que afecta el funcionamiento del equipo que trabaja para conseguirla.

\*(The Six Sigma Way Peter S. Pande, 2000)

La fase de Medición comprende en medir el desempeño de la actividad proceso o producto que estamos analizando. Se debe tener bien claro para que se va a utilizar la información recolectada de las mediciones. Es fundamental decidir cuales serán los indicadores que vamos a estar monitoreando, una incorrecta selección de los indicadores, podría llevarnos a decisiones erróneas.

*\* “Dime como me vas a medir y te diré como me voy a comportar. Si tu me mides de una manera ilógica, no te quejes de comportamientos ilógicos” Eliyahu M. Goldratt*

\* The haystack syndrome pag. 26 M. Goldratt 1990

La fase del Análisis requiere el uso de herramientas más definidas. Es aquí cuando vamos a poder diagnosticar que está bien y que esta mal, así como lo que esta mal encontrar las soluciones.

La fase de Implementar la mejora, es quizá la etapa crucial, es cuando se ponen a prueba los cambios planeados. Se tiene que tener un plan muy bien estructurado, donde se garantice que cualquier cambio al proceso actual, no afectará negativamente a otros procesos.

La fase de Control es cuando una vez implementada la mejora, hay que proveer los recursos para evitar que se pierdan los avances y logros alcanzados. Es aquí cuando el periodo de ahorros y de satisfacción al cliente deben ser conservados.

El modelo DMAIC puede ser utilizado tanto para la etapa de diseño de proceso, como para la mejora al proceso.

PROCESO DE MEJORA DE SEIS SIGMA		
Etapa	Mejora al Proceso	Mejora al Diseño
<b>Definir</b>	-Identificar el problema -Definir requerimientos -Poner una meta	-Definir la meta -Clarificar el alcance
<b>Medir</b>	-Validar el problema -Refinar problema y metas -Medir etapas claves	-Medir cumplimiento de los requerimientos -Obtener datos de eficiencia

<b>Analizar</b>	-Desarrollar hipótesis -Identificar causa raíz -Validar hipótesis	-Identificar mejores prácticas -Refinar requerimientos
<b>Implementar</b>	-Desarrollar ideas -Probar soluciones -Estandarizar solución	-Diseñar nuevos productos -Implementar el nuevo proceso
<b>Controlar</b>	-Establecer medidas estándares -Corregir problemas como sea necesario.	-Establecer medidas estándares -Corregir problemas como sea necesario.

Para ser una compañía Seis Sigma no tiene que alcanzar un nivel Seis Sigma (99.9997% perfecto) en ningún proceso, ni Motorola, ni GE han alcanzado esos niveles. Pero no por el simple hecho de usar un poco de herramientas se convierte en una compañía Seis Sigma. Una compañía Seis Sigma debe ser una que asuma el cambio de medir y mejorar todos sus procesos.

Dentro de la metodología Seis Sigma, Existen 38 herramientas básicas asignadas a diferentes etapas del modelo DMAIC.

Como se mencionó, algunas de estas herramientas no son creación de la metodología, pero lo que ha conseguido Seis Sigma es integrar una serie de herramientas a una metodología con pasos definidos pero flexibles para incrementar el impacto de las herramientas.

Mencionaremos algunas de las principales herramientas.

<b>DMAIC</b>	<b>Principales Herramientas</b>
Definir	Contrato SIPOC (requerimientos del proceso y necesidades del
Medir	Mapa de proceso Herramientas de Manufactura Esbelta
Analizar	Análisis de efectos y modos de falla (FMEA)
Implementar	Herramientas arriba mencionadas
Control	Análisis de efectos y modos de falla (FMEA)

Durante el desarrollo de un proyecto, es necesario estar seguro que cubrimos las siguientes preguntas:

#### Definición

¿Por qué estamos aquí?

¿Cuál es nuestra meta?

¿Cómo podemos estar seguros que trabajamos en algo importante para la compañía?

¿Quiénes son nuestros clientes y que desean de nosotros?

¿Cómo trabaja nuestro proceso?

¿Cuál es la parte más costosa y frecuente de nuestro problema?

#### Medir

¿Cuáles son las entradas claves a nuestro proceso?

¿Qué tan largo es nuestro proceso?

¿Cómo el trabajo se mueve entre departamentos?

¿Cómo cambia el proceso respecto al tiempo?

¿Cuánta variación hay en nuestro proceso?

¿Cuanta variación hay en nuestro sistema de medición?

¿Cuál sería una meta alcanzable para reducir variación?

#### Analizar

¿En cuáles entradas nos debemos fijar primero?

¿En qué potenciales causas raíz debemos de enfocarnos?

¿Cómo tendremos la aprobación para las pruebas?

¿Qué entradas tienen efectos significativos en las salidas?

#### Implantar la mejora

¿Qué ideas o soluciones debemos seleccionar primero?

¿Cómo vamos a planear las pruebas?

¿Qué combinación de entradas y salidas vamos a monitorear?

¿Cómo documentaremos el proceso de mejora?

#### Controlar

¿Cómo podemos medir el progreso y detección de problemas?

¿Cómo calculamos y reportamos ahorros?

¿Cómo comunicamos resultados y mejores prácticas?

¿Cómo reconocemos el esfuerzo del equipo?

Muchas veces el sentido de urgencia que vivimos en estos tiempos, nos invitarían a llegar a la fase de implementación tan rápido como sea posible, pero muchas veces, no tener un proceso sólido en las primeras etapas del modelo de mejora, evitan tener metas claras y se pierde el sentido del trabajo, y sobre todo causa confusión en el equipo, lo que puede ocasionar conflictos y el fracaso.

Para evitar este fenómeno el modelo DMAIC ofrece un programa estructurado pero flexible, que puede ser aplicado prácticamente a cualquier actividad.

## **2.2.5 Herramientas de Seis Sigma.**

### **Mapa de pensamiento.**

El mapa de pensamiento es una de las herramientas más fuertes dentro de la metodología seis sigma. El mapa de pensamiento es la documentación de la serie de decisiones tomadas por el equipo para resolver un problema. Incluye una serie de preguntas y las respuestas encontradas, mediante la representación gráfica de los pensamientos y estrategias desarrolladas a lo largo del proyecto.

Como herramienta de seis sigma es una guía a través del modelo de mejora DMAIC y ayuda a determinar la herramienta apropiada de seis sigma a utilizar. Ayuda a identificar los recursos requeridos, y sobre todo es un documento constantemente actualizado para reflejar las acciones que se cumplen y plasmar las nuevas preguntas que han surgido.

El mapa de pensamiento no tiene ningún formato en específico que deba ser seguido. El realizador debe utilizar el formato que lógicamente exprese las preguntas e ideas que llevaron el proyecto. Algunas guías podrían ser:

1. Identificar la meta del proyecto
2. Realizar preguntas sobre la meta establecida
3. Priorizar el esfuerzo para contestar esas preguntas
4. Planeas llegar a las respuestas
5. Información fue aprendida de la aplicación de las herramientas
6. Surgimiento de nuevas preguntas.

El camino planteado para el proyecto puede ser serial o paralelo dependiendo de la naturaleza del proyecto u otras necesidades

Existen tres errores comunes con respecto a los proyectos de mejora; el primero es iniciar con una idea predeterminada de la solución, en lugar de generar alternativas mediante el entendimiento de preguntas realizadas sobre el proyecto; el segundo es utilizar un conjunto de datos históricos y hacer inferencias no seguras sobre la situación actual; y un tercer error, iniciar el proyecto con una serie de técnicas y herramientas estadísticas creyendo que serán útiles para resolver un problema en particular. Si queremos obtener soluciones innovadoras necesitamos romper paradigmas, de esta manera obtendremos verdaderas soluciones en vez de reparar o arreglar lo que ya está.

El éxito en el proceso de mejora continua no esta tanto en la aplicación de herramientas por si solas, sino en el conocimiento que se logra respecto al proceso. Esa es la razón por la que el mapa de pensamiento es un proceso de documentación continuo, de el conocimiento actual del proceso y de las preguntas que nos llevarán a un nivel de conocimiento mayor del proceso, así como el camino para contestar esas preguntas, el conocimiento adquirido en base al trabajo y a la vez una dirección para el futuro.

ref. 8(Cheryl Hild, Doug Sanders, and Bill Ross1999-2000)

## SIPOC Una visión global del proceso.

### Definición

La forma SIPOC es una herramienta que documenta un proceso de proveedores a clientes. El nombre viene de las identificaciones de las columnas en forma: **S**uppliers (Proveedores), **I**nputs (Entradas), **P**rocess (Proceso), **O**utputs (Salidas), y **C**ustomers (Clientes) (Figura 31).

### Propósito de SIPOC

- La forma SIPOC se usa para:
- Identificar y balancear requerimientos competitivos del cliente.
- Identificar gaps entre requerimientos y salidas del proceso.
- Identificar los proveedores de las entradas del proceso.
- Asistir en la identificación de recolección de datos.
- Verificar requerimientos de recursos para el equipo e información.
- Fijar las métricas correctas como herramienta para continua verificación de los requerimientos del cliente.

### Elementos del SIPOC

**Proceso:** Descripción de un proceso que produce salidas a cumplir las necesidades (expresadas o implicadas) de clientes.

**Límites Entradas y Salidas:** Define los límites del proceso, inicio y final.

**Salidas:** Productos o servicios entregados que deben de satisfacer las expectativas del cliente y cumplir o exceder los requerimientos del cliente.

**Clientes:** Personas que reciben las salidas, y esas personas que define los requerimientos de salidas, pero no recibe las salidas.

**Requerimientos cliente:** Expectativas medibles de salidas del proceso. La salida debe ser medida y comparada a los requerimientos del cliente para cuantificar satisfacción del cliente. Para que el proceso entregue salidas que cumplen con los requerimientos del cliente, debe de tener entradas que cumplen con requerimientos específicos.

Requerimientos proceso: Las expectativas cuantificables que el proceso impone en las entradas.  
 Proveedores: Entregan las “Entradas” necesarias al proceso.

Medición de salida proceso: Debe ser comparada a requerimientos del cliente para cuantificar satisfacción del cliente.

Medición de entrada o en-proceso: Son necesarias para monitorear y controlar el proceso y proveer datos diagnosticados para mejora de procesos.

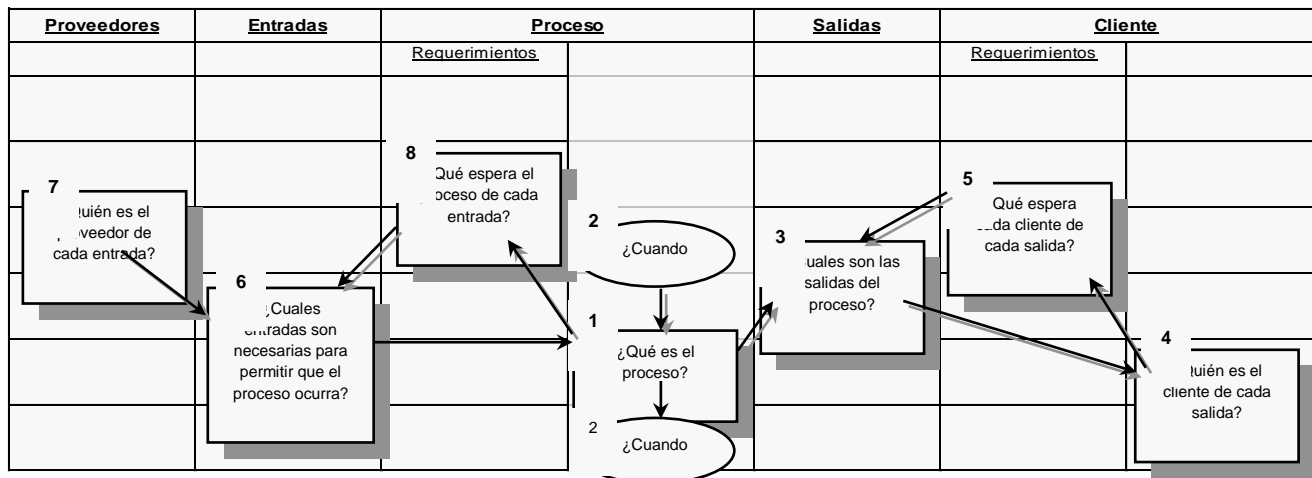


Figura 31 Formato del SIPOC (Honeywell International Inc, 2000)

Interpretación del SIPOC

- Verificar los requerimientos del cliente de primera
- Observar cómo los clientes usan el producto (sigue el producto).
- Usar el producto en primera mano (se el cliente).
- Entrevistar a sus clientes.
- Aprender de las palabras exactas del cliente.
- Usar más que tus oídos para escuchar sus respuestas, mira sus acciones.
- Reconocer modos de falla en obtener requerimientos del cliente
- Se aprende muy poco con respuestas “sí” y “no”.
- No suponer que gente en ventas, mercadotecnia, o ingeniería preguntan lo mismo .....o escuchan las respuestas igual.
- Continuamente monitorear y aprender las necesidades del cliente
- Escuchar necesidades futuras del cliente; no limites tu enfoque al negocio o problemas de hoy.
- Hacer la tarea – conocer a tu cliente, conocer el mercado, conocer las oportunidades.

Con un SIPOC terminado, puedes usar la información para:

- 1) Verifica conexión entre las “salidas” y los “requerimientos del cliente”.
- 2) Asegura que la frase problema del equipo sea en mínimo uno de los “requerimientos del cliente” y/o “requerimientos del proceso”.

- 3) Identificar si hay gaps entre “requerimientos del proceso” con “requerimientos del cliente”. Asegura que el equipo tenga acceso a proveedores, expertos del proceso, y clientes para cerrar gaps.

## Mapa de Proceso

Proceso: Una serie de actividades que transforman entradas en salidas específicas.

Mapa de Proceso: Descripción gráfica de los pasos de un proceso. Es un documento que representa como opera un proceso actualmente no como se supone que opera. Es un documento viviente que debe de ser revisado y actualizado constantemente (Figura 32).

Los componentes del mapa de proceso son:

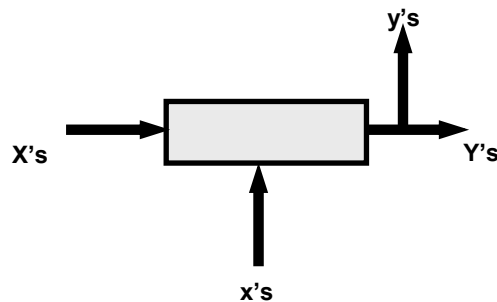
- Entradas: 6 M's; Mano de obra, método, material, maquinaria, medición y medio ambiente.
- Transformación: Serie de pasos que cambian (transforman) las entradas.
- Salida: Bien, Servicio o Proceso.

Propósito de crear un Mapa de Proceso:

- Identificar las entradas del proceso (X's)
- Identificar las salidas de los procesos claves (Y's)
- Clasificar las entradas para identificar cuales son críticas en el proceso.

El mapa de proceso busca clarificar la ecuación general del proceso donde

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$



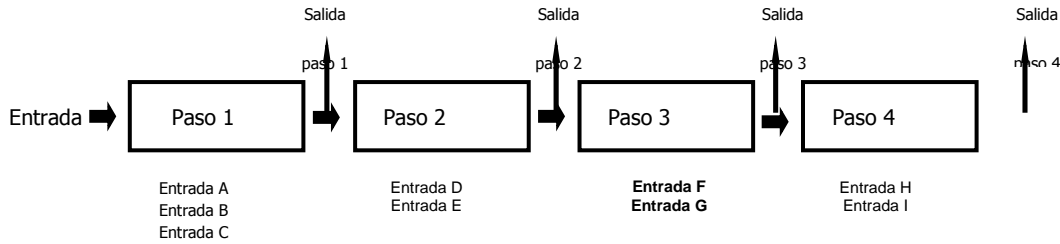


Figura 32. Formato básico de un mapa de proceso (Honeywell International Inc. 2000)

Es necesario categorizar las entradas al proceso. Las entradas al proceso pueden ser:

X- Críticas: Cuando se ha comprobado que la variable de entrada tiene un alto impacto en la variabilidad de la salida.

N- Ruido: Cuando es muy complicado o imposible tener control sobre esa entrada.

C- Controlable: Cuando existen o pueden existir los medios para manipular y controlar el valor de la variable

S- Estandar: Cuando la variable es el resultado de un procedimiento estandar de operación.

Es precisamente el conocer la categoría de las variables lo que nos permite manipular la ecuación  $Y=f(x)$  para obtener la salida que deseamos.

### Matriz Causa-Efecto

Cuando iniciamos nuestros esfuerzos de mejora, es muy difícil poder determinar desde el inicio dónde debemos enfocar nuestros esfuerzos para maximizar los resultados del proyecto. Al inicio podemos tener un número muy grande de entradas al proceso y algunas salidas. Siguiendo la ecuación de proceso donde  $Y=f(x)$  para obtener la salida esperada debemos controlar las X's pero puede ser una tarea interminable.

El objetivo de la matriz Causa – Efecto es encontrar aquellas entradas que son claves para determinar la salida y en ellas enfocarse (Figura 33).

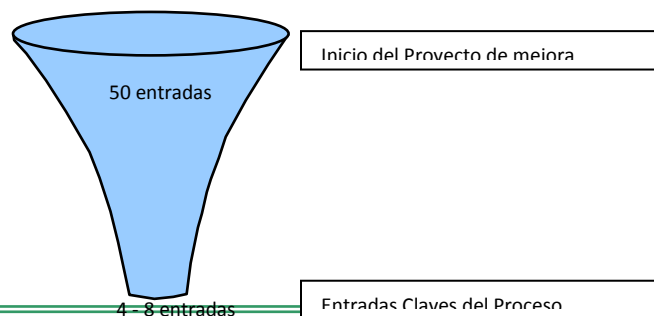


Figura 33. Eliminación de entradas no importantes para el análisis (Honeywell International Inc.)

Matriz C&E (Figura 34): Cuantifica la prioridad de una entrada (pequeña x) con su impacto estimado en los requerimientos del cliente (salida del proceso o Y principal) .

- λ Mapa de Proceso es la fuente de información primaria.
- λ Salida clave (Y's mayor) son valoradas en importancia al cliente.
- λ Entradas claves (x's pequeñas) Son valoradas por su relación hacia los requerimientos del cliente.

Pasos para construir una Matriz Causa – Efecto

1. Identificar los requerimientos claves (salidas) del Mapa de Proceso.
2. Asignar factores de prioridad para cada salida y arreglarlas en orden.
  - Valor bajo: poca importancia para el cliente.
  - Valor alto: gran importancia para el cliente.
3. Identificar todos los pasos del proceso y materiales (entradas) del Mapa de proceso.
4. Evaluar la correlación de cada entrada con cada salida.
  - Valor bajo: cambios en la variable de entrada (cantidad, calidad, etc.) tiene un efecto pequeño en la variable de salida.
  - Valor alto: Cambios en la variable de entrada pueden afectar grandemente la variable de salida.
4. Multiplique los valores de correlación con factores de prioridad y súmelos a lo largo de cada entrada.

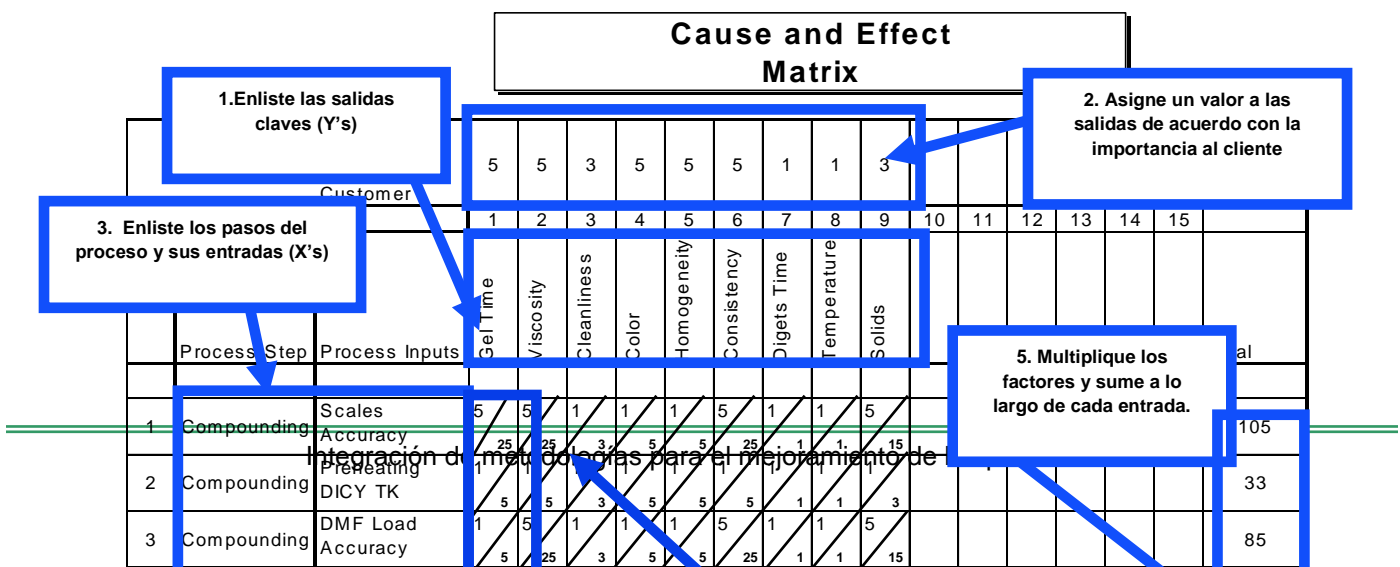


Fig 34. Formato de la matriz causa-efecto (Honeywell International Inc. 2000)

Con los valores finales se debe construir una gráfica de pareto que nos dará los siguientes Resultados:

- λ Identifica cual de las x's pequeñas son críticas en tu mapa de proceso:  $y=f(x)$
- λ Determina donde trabajar para la mejora.
- λ Determina qué controlar.

### Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)

Un FMEA lo podemos definir como un método sistemático que:

- Reconoce, evalúa y prioriza fallas potenciales y sus efectos.
- Identifica acciones que pueden eliminar o reducir la ocurrencia de fallas potenciales
- Documenta el proceso

Un modo de Falla es la forma en la que el componente, sub-ensamble, producto o proceso puede fallar. Un Efecto es el resultado de la ocurrencia de un modo de falla en el sistema, producto o proceso. El IMPACTO en el cliente.

Un FMEA es utilizado por que Identifica modos de falla potenciales y determina la severidad de sus efectos, prioriza las deficiencias potenciales y tiene un enfoque en la prevención (Figura 34).

Análisis de Fallas y Efectos (FMEA)											
Nombre y No. de Producto/Parte				Dueño del Proceso:							
Nombre del Proceso:				Fecha:				Revisión:			
Otras áreas Involucradas				Preparado Por:				Página			
Parte/Proceso	Modo (s) de Falla	Efecto de la Falla	S E V	Causas	O C C	C C T	D E T	R P N	Medidas para prevenir la Falla (S)		
									Acciones a Tomar	Planes	Responsable

Identificar modos de falla e impactos

Evaluar entradas

Priorizar

Determinar acciones e impactos

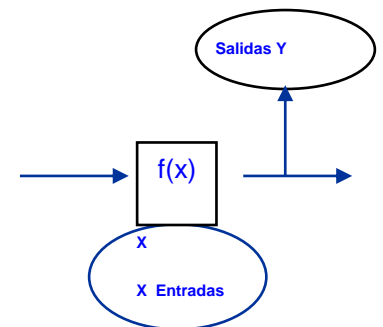


Figura 34.Formato del FMEA (Honeywell International Inc, 2000)

Un FMEA puede ser utilizado cuando:

- $\lambda$  Al inicio de la investigación de mejora de un proceso, y después de que el mapa de proceso ha sido desarrollado.
- $\lambda$  Cuando nuevos sistemas, productos o procesos están siendo diseñados.
- $\lambda$  Cuando diseños o procesos existentes están siendo modificados.
- $\lambda$  Cuando diseños de transición son usados en nuevas aplicaciones.
- $\lambda$  Después de que el sistema, producto o funciones del proceso son definidos, pero antes de que el equipo sea seleccionado o establecido para trabajar (idealmente)

Pasos para realizar un FMEA

Paso 1 Escribir el nombre del producto o proceso.

Paso 2 Listar los pasos del proceso a investigar.

Paso 3 Listar el o los modos de falla potencial del paso del proceso (Cuál sería la Y negativa que saldría del proceso).

Paso 4 Enlistar el efecto potencial de cada modo de falla desde la perspectiva del cliente.

Paso 5 Seleccionar el nivel de severidad en escala del 1 al 10 donde a mayor severidad mayor numero.  
\*

Paso 6 Listar las causas de cada modo de falla (fallas en las X's o entradas).

Paso 7 Seleccionar el nivel de ocurrencia para cada causa en escala del 1 al 10 donde a mayor severidad mayor número. \*

Paso 8 Listar los controles actuales de como prevenimos que la falla ocurra ó que la causa ocurra.

Paso 9 Seleccionar el nivel de detectabilidad donde a mayor detectabilidad menor el número. \*

Paso 10 Calcular el índice de riesgo (RPN) multiplicando los factores de severidad, ocurrencia y detectabilidad.

Paso 11 Acciones recomendadas, Planes y responsables de como pensamos mitigar los índices.

Paso 12 Re-calcular el Índice de Riesgo pronosticado, pronosticar el impacto de las acciones.

\*Para una guía en seleccionar los niveles de los factores consultar:

Potential Failure Mode and Effects Analysis

Reference Manual Chrysler Corporation, Ford Corporation, GM Corporation

o

SAE J-1739

Acciones Correctivas DEBEN inicializarse para las prioridades más altas para reducir riesgos. El objetivo de las acciones correctivas es el de reducir cualquiera o todas las calificaciones de Severidad, Ocurrencia y Detección.

Las Calificaciones se pueden reducir a través de:

- $\lambda$  Calificación de Severidad : Cambios en el Diseño
- $\lambda$  Calificación de Ocurrencia: Removiendo o controlando las causas a través del diseño y/o cambios en el proceso
- $\lambda$  Calificación de Detección : Mejorando los métodos de control

## Voz del Proceso (Gráficos de Control)

Voz del Proceso (VOP) es algún tipo de datos numéricos que analizamos para evaluar la función de un proceso. El Gráfico de Control es una de muchas herramientas gráficas que usamos para analizar la función de un proceso. Consiste de dos gráficos marcados en orden de tiempo. Un gráfico contiene datos del proceso (gráfico de individuales o promedios) y el otro datos de variación del proceso (gráfico de rangos) (Figura 35).

### Aspectos que incluyen los Gráficos de Individuales o Promedios:

- *Datos anotados en orden de tiempo*
- *El promedio del proceso o media*
- *Limite de Control Superior - en ingles "Upper Control Limit" (UCL) que es calculado a  $+3\sigma$  por arriba de la media*
- *Limite de Control Inferior - en ingles "lower Control Limit" (LCL) que es calculado a  $-3\sigma$  por debajo de la media*

### Aspectos que incluye el Gráfico de Rango:

- Datos de Rango anotados en orden de tiempo
- Promedio de Rango
- Limite de Control Superior - en ingles "Upper Control Limit" (UCL) calculado a partir de una constante en función si son datos individuales o agrupados y el tamaño del grupo
- Limite de Control Inferior (si existe) - en ingles "Lower Control Limit" (LCL) calculado a partir de una constante en función si son datos individuales o agrupados y el tamaño del grupo

Para el cálculo de los límites de control es recomendable hacerlo a partir de 20 datos. Cambios en el proceso también afectarán los límites de control por ello se recomienda establecer periodos para recalcular de los límites. Al inicio se pueden establecer pre-límites de control basado en los requerimientos del cliente (límite de especificación), pero solo por el periodo de recolección de datos para el cálculo de los límites de control. Ref. 9(Kevin M. Nolan 1990)

Se puede decir que los puntos que caen adentro de los límites de control se ven afectados solo por causas comunes de variación, y los puntos que caen por fuera de los límites de control se ven afectados por causas especiales de variación.

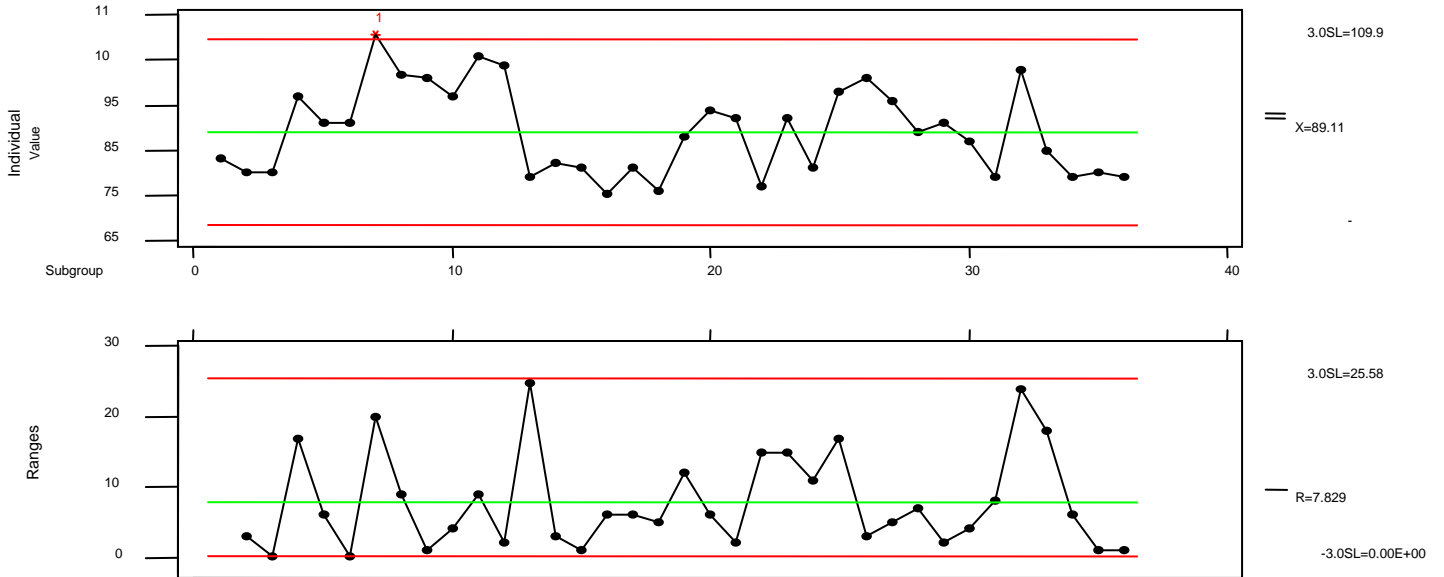


Figura 35. Gráfico de Control de valores individuales.

Reglas Western Electric que determinan cuando un proceso está fuera de control haciendo referencia a la zona de la gráfica donde se localizan los puntos (Figura 36), las más usadas son las siguientes:

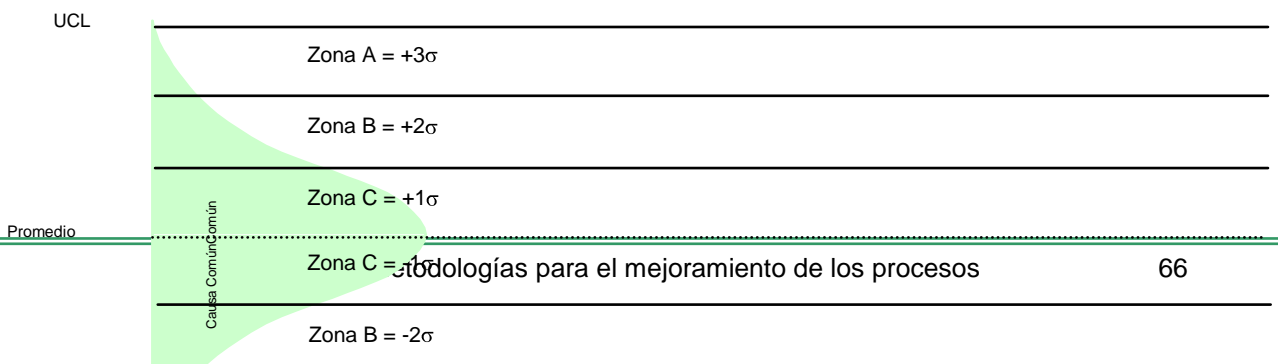


Figura 36. Zonas de un gráfico de control (Honeywell International Inc. 2000)

Regla #1

Uno o más puntos se encuentran fuera de los límites de control.

Regla #2

Dos de tres puntos consecutivos en Zona "A".

Regla #3

Cuatro de cinco puntos consecutivos están en Zona "B" o más allá.

Regla #4

Ocho puntos consecutivos al mismo lado de línea centro.

El gráfico de control nos ayuda a identificar además patrones de variación en el proceso.

Patrones de variación común indican variación causa común. Los puntos están distribuidos en forma pareja alrededor de la línea central y no hay patrones detectables en los datos.

Movimiento a un lado: Es un cambio rápido de dirección en la gráfica. Un número de puntos aparecen a un lado del Gráfico de Control.

Tendencia: Es una serie de puntos “consecutivos” que no tienen cambio de dirección. Hay un continuo movimiento de puntos hacia arriba o abajo en el gráfico. Los puntos están en un lado de la línea centro y siguen al otro lado.

Ciclos: Son tendencias cortas en los datos, los cuales presentan patrones repetidos, los patrones son predecibles o sistemáticos. Hay indicación de causa asignable porque una característica de acaso es que no se repiten patrones. La causa de ciclos son variables del proceso que vienen y van en forma regular.

Mezclas: Son patrones maduros que caen dentro de los límites de control, con ausencia de puntos cerca de la línea de centro. Este patrón se reconoce por el largor no-natural de las líneas conectoras de los puntos y crean un efecto “diente de serrucho.” La mezcla es una combinación de dos patrones en el mismo gráfico - uno al nivel alto y otro al nivel bajo.

Estratificación: Se le conoce al movimiento fluctual de forma no natural y ausencia de puntos cerca los límites de control. En vez de fluctuar naturalmente dentro de los límites de control con puntos ocasionales que se acercan a los límites superior e inferior, el patrón se acerca a la línea del centro con poca desviación. La causa de estratificación puede ser un elemento en el proceso que consistentemente se distribuye en todas las muestras.

Ref. 10 (Cynthia Butler 1986)

## Evaluación del Sistema de Medición (MSE)

Cuando las salidas de un proceso no cumple con los requerimientos del cliente, el proceso necesita ser mejorado, para saber si el proceso ha sido mejorado, la variable debe de ser medida. El enfoque del MSE está en la calidad de las medidas. La selección del tipo de MSE dependerá del tipo de datos.

El MSE Identifica y cuantifica las diferentes fuentes de variación que afectan a un sistema de medición (Figura 37).

Error de Medición: la variación en las medidas pueden ser atribuidas a la variación en la parte que está siendo medida o al sistema de medición mismo.

La variación en el sistema de medición mismo es un error de medición.

$$\sigma_T^2 = \underbrace{\sigma_P^2}_{\text{Producto}} + \underbrace{\sigma_M^2}_{\text{Sistema de Medición}} + \underbrace{\varepsilon}_{\text{Error de Proceso}}$$

$$\sigma_M^2 = \sigma_O^2 + \sigma_E^2 + \sigma_P^2 + \varepsilon$$

Operador
Equipo
Preparación
Medición

Figura 37 Fuentes de variación al sistema de medición. (Honeywell International Inc 1998)

Producto: Variación entre partes o dentro de partes.

Sistema de Medición: Variación en las mediciones puede ser atribuida a la variación en los operadores, equipos, instrumentos, preparación/ método y error de medición.

Como todo proceso, el sistema de medición también tiene un factor de error (error de medición).

Componentes del error de medición incluyen:

- Exactitud: La exactitud del instrumento es la diferencia entre el valor promedio observado y el valor maestro. El valor maestro es el aceptado como estándar de referencia
- Discriminación: La habilidad tecnológica del sistema de medición de poder diferenciar adecuadamente entre los valores de los parámetros de una medida.
- Repetibilidad: La variación entre medidas consecutivas de una misma parte/producto, de una misma característica, por una misma persona usando el mismo instrumento. También conocido como error de prueba-reprueba, usado como un estimado de variación a corto plazo.
- Reproducibilidad: La diferencia entre el promedio de las medidas tomadas por diferentes personas usando el mismo instrumento o diferentes, cuando miden la misma característica.
- Efectos de Tendencias: El promedio de las medidas en algún subgrupo es diferente por una cantidad fija.
- Estabilidad: La ausencia de causas asignables de variación; el estar bajo control estadístico. La consistencia de las medidas a través del tiempo.

Error de medición: Este puede ser evaluado por la comparación del ancho de los límites de control (gráfico de promedio) con la dispersión de los puntos graficados (variación del producto).

- Si todos los promedios caen dentro de los límites de control, la variación del sistema de medición cubre la variación del proceso. En otras palabras, el proceso de medición tiene más variación que el proceso de manufactura y no tiene valor para monitorear o controlar este proceso.

- Si menos de la mitad de los promedios están fuera de los límites, el sistema de medición es inadecuado para monitorear o controlar el proceso.
- Por otro lado, si la mayoría de los promedios (más de 75%) caen fuera de los límites de control, indica que las señales para el proceso de manufactura son mayores que la variación de la medición. Este sistema de medición puede proveer información útil para controlar el proceso.

Flujo Genérico del Proceso Evaluación del Sistema de Medición (Figura 38)

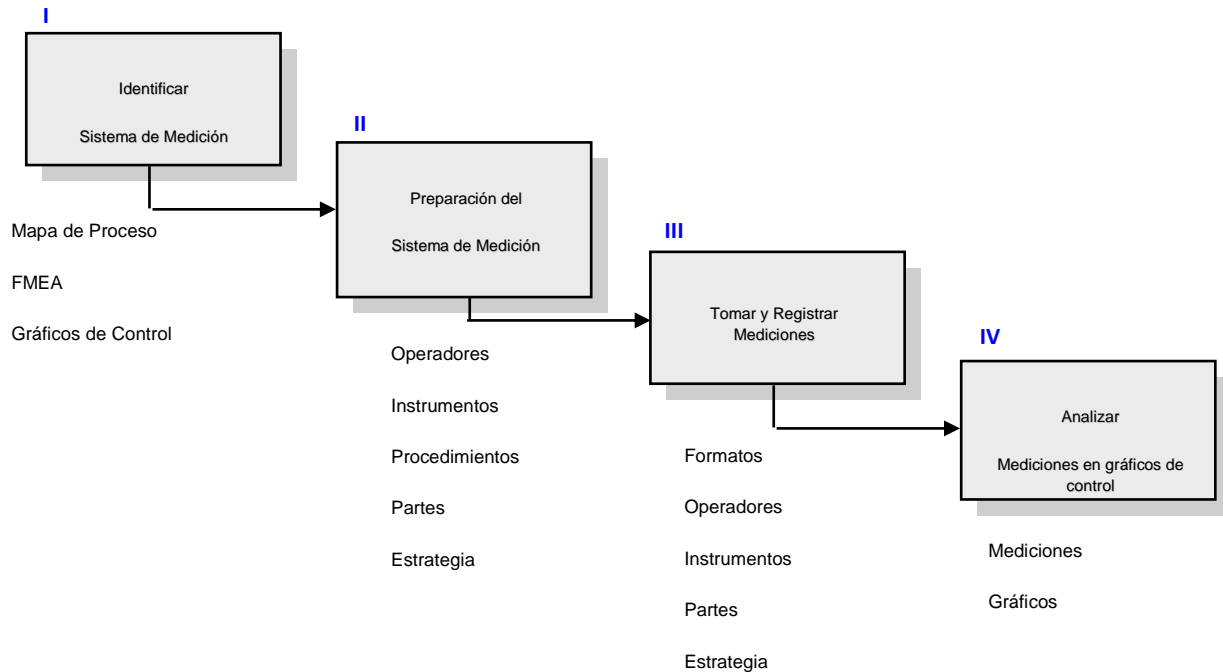


Figura 38. Flujo de un MSE (Honeywell Internatinal Inc 2000)

#### Elementos de un MSE

- Instrumentos calibrados
- Múltiples operadores

- Generalmente 5 partes a medir. Las partes son seleccionadas “aleatoriamente”. Las partes deberán ser identificadas de tal forma que sea clara la toma de su medida y reduzca los efectos de tendencia del operador (‘marcas ciegas’)
- Seleccionar suficientes muestras tal que:  
(Número de muestras) X (Número de operadores)  $\geq 15$
- Si no es práctico o posible, selecciona el número de corridas tal que:  
Si # Muestras X #Operadores  $< 4$ , corridas = 6  
Si # Muestras X #Operadores  $< 5$ , corridas = 5  
Si # Muestras X #Operadores  $< 8$ , corridas = 4  
Si # Muestras X #Operadores  $< 15$ , corridas = 3
- Cada unidad será medida 3 veces (por lo menos) por cada operador

### Método de Evaluación

El método ‘Gage R&R’ es tradicionalmente el método a escoger. Sin embargo, hay algunas complicaciones al usar este método:

- Requiere un gran número de cálculos matemáticos.
- Los cálculos pueden ser difíciles de interpretar.
- El método no es muy amigable.
- No se pueden estimar todas las fuentes de error de medición.

El método del gráfico de control es el preferido por que es el más fácil de usar, el método gráfico hace lo siguiente:

- Cuantifica la discriminación del sistema de medición,
- Revela la estabilidad/repetibilidad del sistema,
- Identifica tendencias del operador y reproducibilidad, y
- Muestra la variación del producto en comparación con la variación del sistema del medición

### Componentes de Variación (COV)

Conocemos que la variación esta presente en todos partes aunque esta variación puede tener su origen de diferentes fuentes. Estas fuentes de variación podemos ubicarlas en tres familias.

Posición: Variación que se presenta dentro de una pieza o a lo largo de una pieza que tiene varias partes.

Secuencia: Variación entre piezas consecutivas, variación entre pasos de un proceso, variación entre grupos o lotes.

Tiempo: Variación entre horas, turnos o días de producción.

El análisis de componentes de variación busca identificar el porcentaje de contribución a la variación total de cada una de las fuentes. Se basa en construir un arreglo de datos de varios niveles donde se tiene identificado para cada dato su relación a las fuentes identificadas de variación en un arreglo jerarquico padre hijo (cada dato pertenece a solo un miembro del nivel jerarquico superior).

En cada nivel se calculan los promedios para cada miembro del nivel y se construyen gráficos de control, donde se puede identificar en que nivel de la estructura jerárquica se encuentra el estado de variación fuera de control. Con los promedios para cada uno de los miembros de cada nivel, también se calcula la desviación estandar con lo que se puede calcular el % de contribución a la variación total de cada nivel de la estructura (fuente de variación).

Ejemplo:

1er nivel: Plantas

2do nivel: Días de producción

3er nivel: Lote de producción

4to nivel: Inspector

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{plantas}} + \sigma^2_{\text{días}} + \sigma^2_{\text{lote}} + \sigma^2_{\text{inspector}}$$

$$100\% = \frac{\sigma^2_{\text{plantas}}}{\sigma^2_{\text{total}}} + \frac{\sigma^2_{\text{días}}}{\sigma^2_{\text{total}}} + \frac{\sigma^2_{\text{lote}}}{\sigma^2_{\text{total}}} + \frac{\sigma^2_{\text{inspector}}}{\sigma^2_{\text{total}}}$$

Conociendo la fuente de variación que se encuentra fuera de control, es mas sencillo enfocar el análisis de proceso a dicha fuente para simplificar los esfuerzos de reducción de la variación.

## Diseño de Experimentos (DOE)

### Filosofía de Experimentación:

Un experimento es una invitación a que ocurra un evento informativo. En orden de aprender, dos cosas deben pasar simultáneamente: Algo debe de pasar (un evento) y alguien debe de observar lo que pasó (Observador perceptivo). La experimentación muestra los dos elementos juntos.

Un experimento es una prueba o serie de pruebas donde nosotros cambiamos las entradas (factores) en orden de un proceso para observar los factores a la salida (respuestas) (Figura 39).

$$Y = f(X)$$

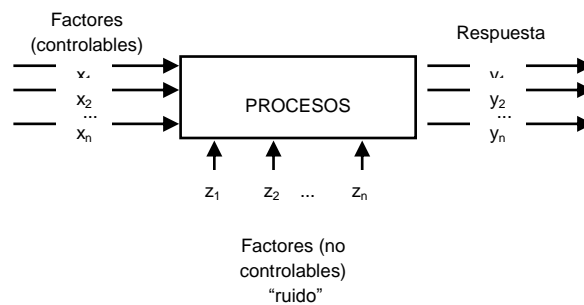



Figura 39 Representación gráfica de un DOE. (Honeywell Internatinal Inc. 2000)

		<h2>Tipos de Experimentación</h2>			
		Fácil de ajustar	Análisis de resultados sencillo	Cuantifica los efectos	
Conocimiento sobre el estado del proceso actual  Alto  	Muy Informal	1. Métodos de prueba-error Hacer un cambio a la vez y mirar que pasa	X	X	
		2. Correr partes o lotes especiales Producir bajo condiciones controladas	X	X	
		3. Pruebas piloto Hacer ajustes para producir un efecto deseado	X	X	
		4. Una Factor a la Vez (OFAT) Usar un gráfico de control para experimentar en un proceso	X	X	
		5. <i>Comparacion Planeada de dos metodos</i> <i>Variables de referencia consideradas en el plan</i>		X	
		6. <i>Experimento planeado con 2 o 4 factores</i> <i>Estudio separado de efectos e interacciones</i>			X
		7. <i>Experimento con 5 o 20 factores</i> <i>Screening DOE</i>			X
	Muy	8. <i>Comprendivo plan de experimentacion con varias fases</i>			X

### Beneficios del DOE

- Incrementa el conocimiento del proceso
  - Desde calificar hasta cuantificar los efectos
  - ¿Cuáles X's afectan las Y's?
  - ¿Cómo afectan las entradas a las salidas y's?
- Observamos interacciones
 

Es el resultado de la combinación de dos o más factores. Dos entradas interactúan si el resultado con cualquier nivel de una entrada cambia con los niveles de la otra entrada
- Nos lleva a la optimización del proceso con la ecuación predictiva.

$$y = C1 + C2 x1 + C3 x2 + C4 x3 \dots$$

Métodos de Experimentación más comunes.

Prueba y Error: Ventajas / Limitaciones

- Ventajas
  - Arreglo rápido...si llega a funcionar
- Limitaciones
  - Parecido a una compostura con "curitas"
  - La causa del problema usualmente no se detecta
  - No se expande el conocimiento del proceso
  - Cambian muchos factores
  - No se considera la variación del sistema (ruido)
  - La probabilidad de una "compostura rápida" es pequeña

OFAT (Un-Factor-A-La-Vez): Ventajas / Limitaciones

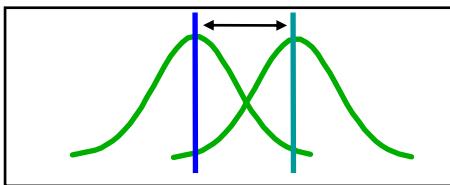
- Ventajas
  - Simplifica el análisis de los resultados.
- Limitaciones
  - Inhabilidad para detectar o aprender acerca de las interacciones
  - Se pueden correr experimentos innecesarios
  - El tiempo para encontrar los factores casuales (factores que afectan la respuesta) es significativo
  - Asume factores lineares
  - Dificultad para mantener los otros factores constantes mientras manipula un solo factor.

DOE (Diseño de Experimentos)

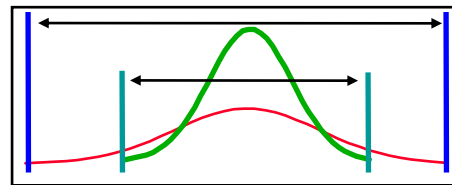
Concepto: Una serie de pruebas en la cual varias entradas (X's)

manipulan los efectos de las salidas observadas (Y's).

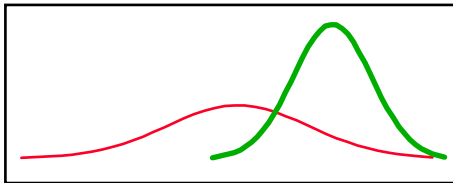
Determina cual entrada es la que mas afecta Y, donde programar X's para centrar Y con respecto a la meta, donde programar X's para minimizar la variación de Y, donde programar X's para minimizar la influencia de variables de ruido en la respuesta Y (Figura 40).



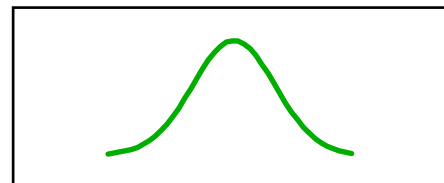
🌐 Factores que cambian el promedio



🌐 Factores que afectan la variación



🌐 Factores que cambian el promedio y que cambian la variación



🌐 Factores que no tienen efecto

Figura 40 Cambios en el proceso por la manipulación de factores . Honeywell Internatinal Inc. 2000)

Existen 2 tipos de DOE: El Factorial Completo y el Factorial Fraccional.

En el Factorial completo se utilizan todas las posibles combinaciones de todos los factores en por lo general 2 valores extremos y en ocasiones un valor central, lo que nos da por resultado conocer todos los efectos principales y todas las interacciones entre los factores, el problema es que si el número de factores es grande (k) el numero de corridas también lo es lo que puede hacer que el experimento sea tardado y costoso. En un DOE factorial completo el número de corridas será igual a  $2^k$ ,

- Ventajas:
  - Un método eficiente y efectivo para entender la relación entre factores y respuestas.
  - Crea un modelo matemático para predecir la respuesta:  $Y=f(x)$
  - Provee un entendimiento de los efectos de interacciones en las respuestas.
- Limitaciones:
  - Los factoriales completos pueden ser usados cuando se investiga un pequeño número de variables (2-4), pero no es recomendado cuando se investigan un numero de factores mayor (5 o mas). Puede ser costoso y demorado.
  - Limitar niveles es mejor que limitar factores.

En el Factorial Fraccional, se utilizan todos los factores pero no en todas las posibles combinaciones, sino que se seleccionan aquellas que nos permitirán identificar solo los efectos principales, y algunas interacciones entre factores. La ventaja es que es mas rápido, y en la etapa inicial de experimentación nos permite eliminar factores no importantes para un Experimento Factorial Completo posterior.

- Ventajas
  - Muchos factores pueden ser investigados con menos inversión.
  - Los recursos necesarios para completarlo son manejables.
  - No se pierde mucha información

- Limitaciones
  - Pierde algunas interacciones (resolución)
  - Inexperiencia en el uso
  - Necesitas mas métodos estadísticos para completar la información perdida
  -

Corrida	A	B	AB	Efecto Y
1	-1	-1	1	23
2	-1	1	-1	24
3	1	-1	-1	25
4	1	1	1	19
Avg +	22.0	21.5	21.0	22.75
Avg -	23.5	24.0	24.5	
Efecto (avg +) - (avg -)	<b>-1.5</b>	<b>-2.5</b>	<b>-3.5</b>	

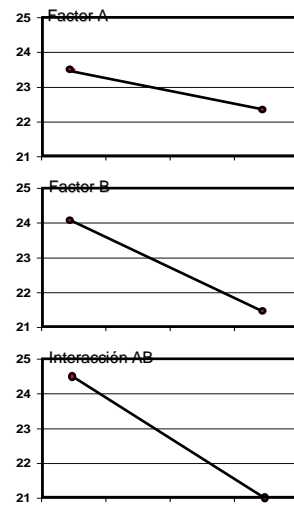


Tabla de diseño y captura de datos y análisis

Gráfica de efectos e interacciones

Fig 41. Gráfica de efectos de factores principales e interacciones (Honeywell International Inc. 2000)

Recuerda que el objetivo final de un DOE es obtener una ecuación predictiva del sistema, es decir obtener la ecuación  $Y=f(x)$  del proceso.

Ref. 11 (Jeff Knowtton 1993)

## Plan de Control

Un plan de control es la herramienta que no ayuda a manejar las actividades requeridas para controlar las entradas críticas. Una actividad integrada que permite al proceso ajustarse a las metas del producto o servicio. Un plan de control documenta que se está controlando, como se detecta, frecuencia con que se mide y acciones a tomar.

- Definir método para interpretar los datos
- Definir las señales apropiadas para tomar acciones
- Definir la persona responsable para tomar acciones

### Componentes de un plan de control

- Punto de control de la salida - respuesta (*y*)
- Asunto del control
- Sensor (detector) información
- Mediciones
- Interpretación de la información
- Plan de acción

Pasos para construir un plan de control.

Paso 1: Definir y escribir de que se trata

Paso 2: Seleccionar las unidades de medida

Paso 3: Definir y controlar los límites

Paso 4: Definir el sensor en términos de método o instrumento.

Paso 5: Determinar y registrar el método y capacidad del instrumento (i.e., porcentaje, exactitud del gauge, etc.)

Paso 6: Registrar las medidas y determinar quien hace las medidas.

Paso 7: Determinar la frecuencia de las medidas (diario, semanal, mensual, etc.).

Paso 8: Definir el tamaño de la muestra (100%, 25%, etc.). Usar los niveles de confianza.

Paso 9: Definir la herramienta o gráfica para transformar la información (i.e. gráfico de control).

Paso 10: Interpretar la señal

Paso 11: Hacer recomendaciones e identificar responsables para las acciones.

Tipos de control

- **Compensado:** En este tipo de control se hacen los ajustes para regresar la variable a control sin identificar o corregir el factor que esta causando la situación.
- **Correctivo:** En este tipo de control, la causa de la variación es identificada y corregida temporalmente. Puede que el problema aparezca de nuevo en el segundo turno.
- **Preventivo:** En este tipo de control, la causa de la variación es identificada y corregida permanentemente. La causa no va a aparecer de nuevo.

Lo mas adecuado es enfocar el plan de control en acciones preventivas. Ejemplos; Análisis de causa raíz, entrenamiento al operador, mantenimiento preventivo, etc.

**2.3 Integración de Manufactura Esbelta y Seis Sigma (Tema de tesis)**

**2.3.1 Antecedentes.**

Ambas metodologías han demostrado por si misma su efectividad en las últimas dos décadas alcanzando impresionantes mejoras en costo, calidad y tiempo enfocandose en el desempeño de los procesos. Esto ha motivado a que la mayoría de las compañías actualmente despliegan al menos una de las dos estrategias para la mejora de procesos. De cualquier manera al utilizar solo una de las metodologías tiene ciertas limitaciones, una compañía aplicando seis sigma podrá eliminar defectos, pero difícilmente optimizará el flujo del producto, por otro lado, una compañía desplegando lean, quizá nunca logre la capacidad requerida en los productos para ser realmente lean. Es por ello que muchas compañías estan buscando un camino para combinar ambas metodologías bajo un sistema integrado aunque las diferencias entre ambas sea profunda.

Comparación entre Lean y Six Sigma

	Lean	Six Sigma
Meta	Crear flujo y eliminar el desperdicio	Mejorar la capacidad del proceso y reducir la variación
Aplicación	Primeramente procesos de manufactura	Todos los procesos del negocio
Aplicación	Enseñando los principios y aplicandolos bajo un estilo de receta basada en las mejores prácticas	Enseñando una metodología de solución de problemas genérica basada en la estadística
Selección de proyectos	Usando un mapa de cadena de valor	Varios métodos
Duración de los proyectos	De 1 semana a 3 meses	De 2 a 6 meses
Entrenamiento	Aprender haciendolo	Aprender haciendolo

Desarrollar un programa de mejora integrando ambas metodologías requiere mas que incluir un par de principios de manufactura esbelta en un programa seis sigma o entrenar a lean experts y black belts. Una estrategia de mejora integrada debe tener en consideración las diferencias y utilizarlas de una manera efectiva.

Según lo sugiere Thomas Bertels en su artículo Integrating Lean and Six Sigma The power of an integrated roadmap (Ref 12) la integración de Lean and Six Sigma debe incluir:

- Usar un mapa de cadena de valor para desarrollar una lista de proyectos que se guiarán por sí mismos a la aplicación de herramientas de seis sigma o de manufactura esbelta (fig 42)
- Enseñar los principios de manufactura esbelta para incrementar la sinergia e introducir el proceso seis sigma posteriormente para atacar problemas mas avanzados (Figura 42).
- Ajustar el entrenamiento a las necesidades específicas de la organización – mientras algunas areas se podrían beneficiar de la implementación de los principios de manufactura esbelta respecto a la estabilidad, otras estarán listas para herramientas mas avanzadas.

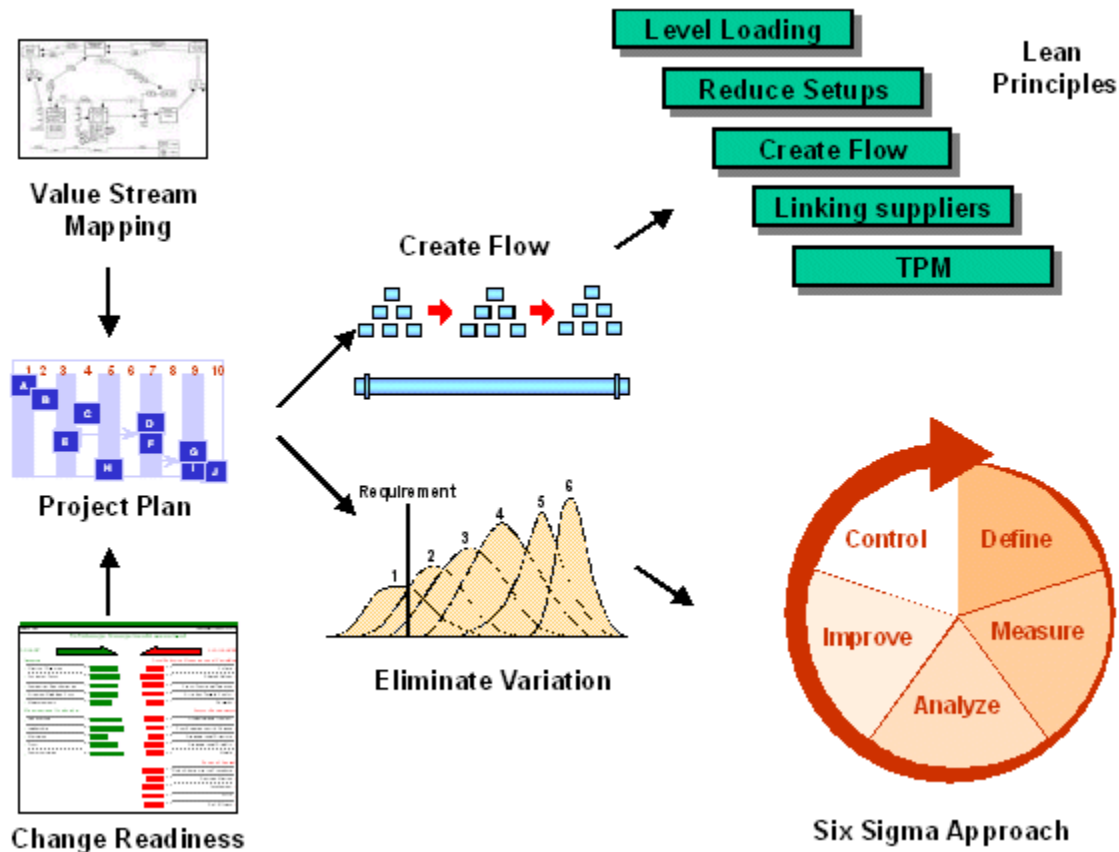


Figura 42 Integración Manufactura Esbelta – Seis Sigma (T. Bertels).

## Capítulo 3 Comprobación de la Hipótesis

### 3.1 Comprobación de la Hipótesis

El primer paso para comprobar la hipótesis planteada fue identificar una metodología de trabajo mínima que sirviera de estructura para la integración de las demás herramientas de mejora ya sean de seis sigma o de manufactura esbelta. Después de revisar las dos metodologías encontramos en el mapa de pensamiento la herramienta ideal para ser el centro de la estructura del modelo de mejora, ya que no está limitado a una serie de herramientas, sino que se crea a través de preguntas que nos ayudan a trazar el camino de un proyecto desde la identificación de la oportunidad hasta el cumplimiento de la meta.

¿Por qué se identifica el área de fabricación de aletas como un área de oportunidad?

Por las medidas de rendimiento de la celda que se encontraban como se muestra:

- Entregas a tiempo: 20%
- Tiempo para procesar una orden: 25 días
- Tiempo de entregas atrasadas: 2 semanas

Además la estrategia del corporativo para transicionar mas número de partes a la planta en Mexicali estaba en riesgo debido al bajo rendimiento del proceso. Al momento de iniciar el proyecto, solo el 40% de los números de parte se fabricaban en Mexicali.

¿Cuál es la meta y el impacto esperado al negocio como resultado de este proyecto?

La gerencia decidió establecer las siguientes metas al proyecto:

- Entregas a tiempo: mayor al 85%
- Tiempo para procesar una orden: 12 días
- Entregas atrasadas: no mayor a 2 días.

El impacto esperado al negocio era el siguiente:

- Al mejorar las entregas a tiempo de los detalles, incrementar las entregas a tiempo de las unidades finales.
- Al procesar las ordenes en menos días, reducir el inventario.
- Al reducir las entregas atrasadas, dar mas estabilidad a la celda y reducir costos de operación.

¿Están las métricas claramente definidas y entendidas por todos en la organización?

Se realizó revisión de las métricas para validar a un alto nivel el sistema de medición de indicadores, encontrando lo siguiente:

Tiempo para procesar una orden: Tiempo que una orden se encuentra en el piso de producción, desde que el departamento de materiales libera una orden en piso hasta que inspección final compra la orden.

Entregas atrasadas: Tiempo de producción, requerido para fabricar la cantidad de órdenes atrasadas en un momento dado.

Entregas a tiempo: Aquí se encontró una discrepancia en el manejo de la métrica, ya que el departamento de producción tenía el siguiente criterio: Si en la semana tenía que fabricar 100 partes de un número de parte y solo fabricaba 70, el criterio de producción era contar 70% de entrega a tiempo, mientras que para el departamento de materiales el mismo caso contaba como entrega tardía el 100% de la orden. Se decidió unificar el criterio al que el departamento de materiales manejaba, ya que es el que considera órdenes completas para manejo del MRP de la compañía. El resultado de esta clarificación de la métrica fue el siguiente (figura 43):

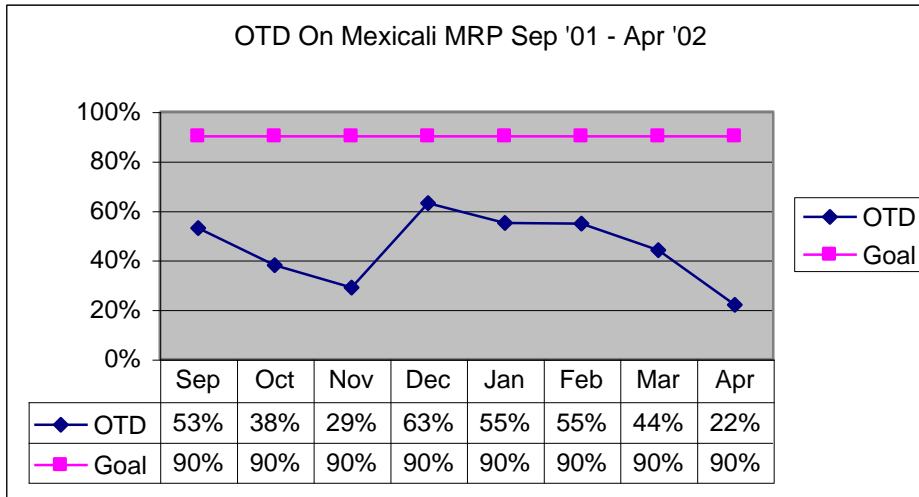


Figura 43. Gráfica de Entregas a tiempo

Con lo que concluimos que las entregas a tiempo tenían un comportamiento pobre e impredecible. ¿Cómo es posible mejorar el rendimiento de la celda?

Quizá esta sea la pregunta clave dentro de un proceso de mejora, la celda tiene un comportamiento en el que parece tener un problema de velocidad de procesamiento, lo importante es identificar los puntos de restricción de flujo material, por lo que la decisión es elaborar un mapa de cadena de valor (Figura 44) para identificar los puntos donde hay que tomar acción para mejorar el flujo de material dentro de la celda.

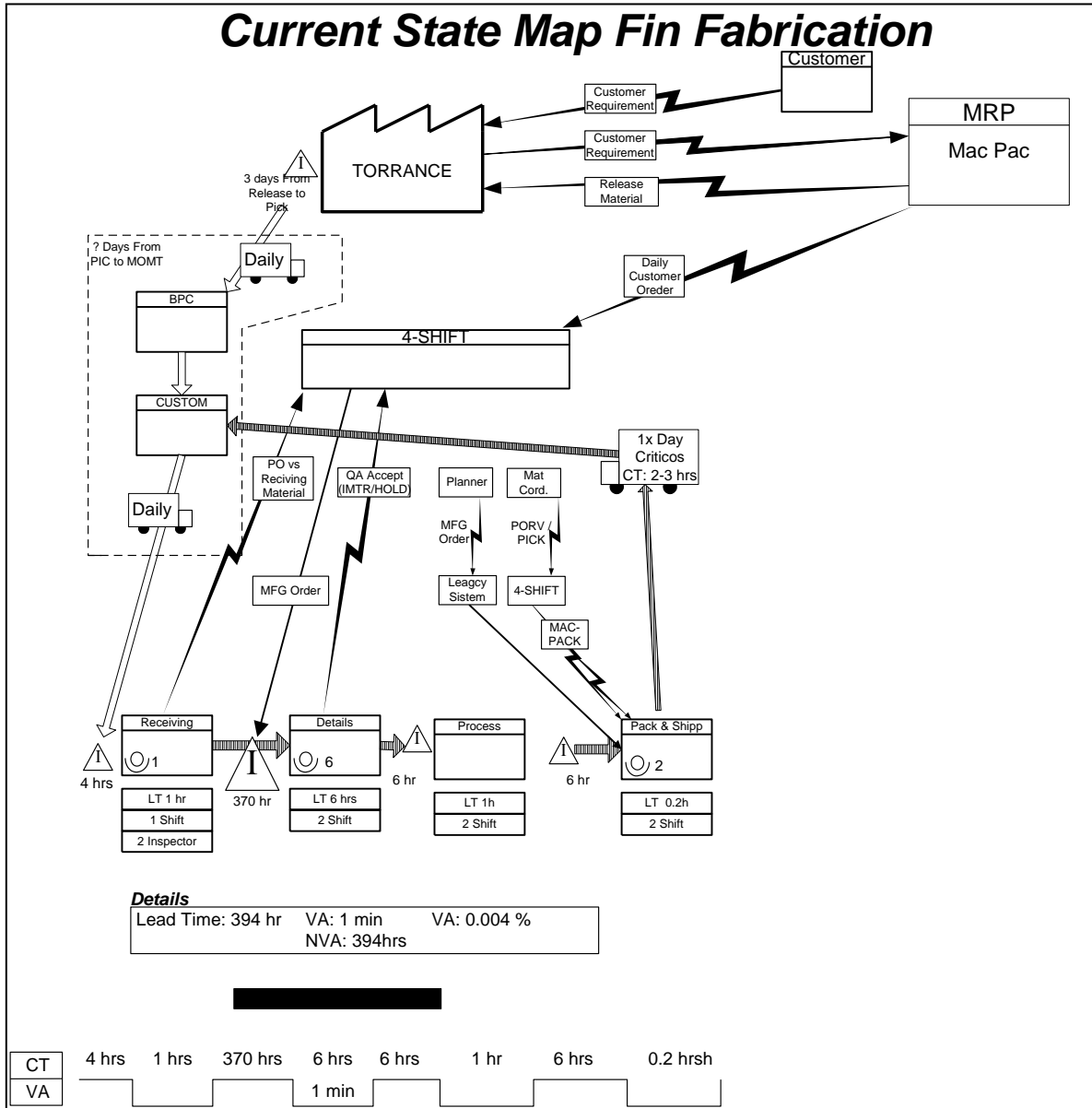


Figura 44. Mapa de cadena de valor del proceso de fabricación de aletas.

Como resultado de el mapa de cadena de valor se encontró un tiempo de espera desproporcionado justo antes de la fabricación del producto.

¿Por qué las partes tienen un tiempo de espera tan prolongado antes la fabricación?

Los tiempos de setup actuales de mas de 4 horas para fabricar órdenes que apenas toman de 2 a 6 horas motiva al líder de celda a trabajar en lotes lo mas grandes posibles para aprovechar cada setup al máximo, Como resultado de esta estrategia, el setup para un número de parte dado se realizaba cada 2 semanas y hasta cada mes y por consiguiente el inventario era inmenso así como el tiempo de espera de la parte para que fuera su turno de producción era muy elevado.

Para atacar esta situación, se decidió iniciar un análisis de SMED en el área de las prensas de fabricación con el fin de reducir el tiempo de preparación y motivar al líder de celda a reducir el tamaño de lote y la frecuencia de fabricación.

Otro desperdicio encontrado en el mapa de cadena de valor es el proceso de limpieza final que no tenía sentido realizar a este nivel de la fabricación, ya que en procesos posteriores, la parte nuevamente pasaba por ese proceso, lo que hacía un proceso redundante, por lo que se eliminó a nivel fabricación de aleta.

¿Cómo se realiza un setup en las prensas de aletas, que pasos pueden considerarse setup interno y cuales setup externo?

Se utilizó el setup paso a paso bajo una perspectiva de SMED identificando operaciones de setup interno y externo, tiempos y tipo de operación (figura 45).

PART NUMBER: Fins  
 PART NAME: Ratiotrol  
 MACHINE: Ratiotrol

VIDEO TAPE TITLE: Setup fins  
 START TIME ON VCR:  
 START TIME ON TAPE:

STEP	OMIT	OPERATION DESCRIPTION	Type Code	As Is Int./Ext.	To Be Int./Ext.	Alt. Start Time (Optional)	TIME		ANALYSIS				
							CUMULATIVE	EACH	Type P M C T				
<b>TOTAL</b>							20100	1350	1740	8940	8070		
2		Ir por herramienta	P	ew	ew		0:03:00	180	180				
3		Desmontar strips y punch del dado anterior	M	iw	iw		0:08:00	300		300			
4		Limpiar y guardar dado	P	ew	ew		0:12:00	240	240				
5		Ir por dado.	P	ew	ew		0:15:00	180	180				
6		Montar strips superior e inferior internos	M	iw	iw		0:20:00	300		300			
7		Medir abertura entre strips	C	iw	iw		0:22:00	120				120	
8		calcular shims	C	ew	ew		0:23:00	60				60	
9		buscar shims adecuados	C	ew	ew		0:25:00	120				120	

Figura 45. Formato de análisis de setup prensas ratiotrol

Formato de análisis de setup completo ver Anexo I

¿Existen oportunidades para aplicar la metodología SMED?

Se encontraron numerosas oportunidades para realizar operaciones de setups externos, y para simplificar las operaciones, solo es necesario analizar mas profundamente cada paso para encontrar los como de dichas modificaciones.

¿Cuáles son las entradas y salidas de cada paso del setup?

Para poder hacer un análisis mas profundo de cada paso del setup, cuestionando el motivo de cada paso y los elementos necesarios para llevarlo a cabo, se identificó que un mapa de proceso del setup era la herramienta adecuada para proveer dicha información (Figura 46).

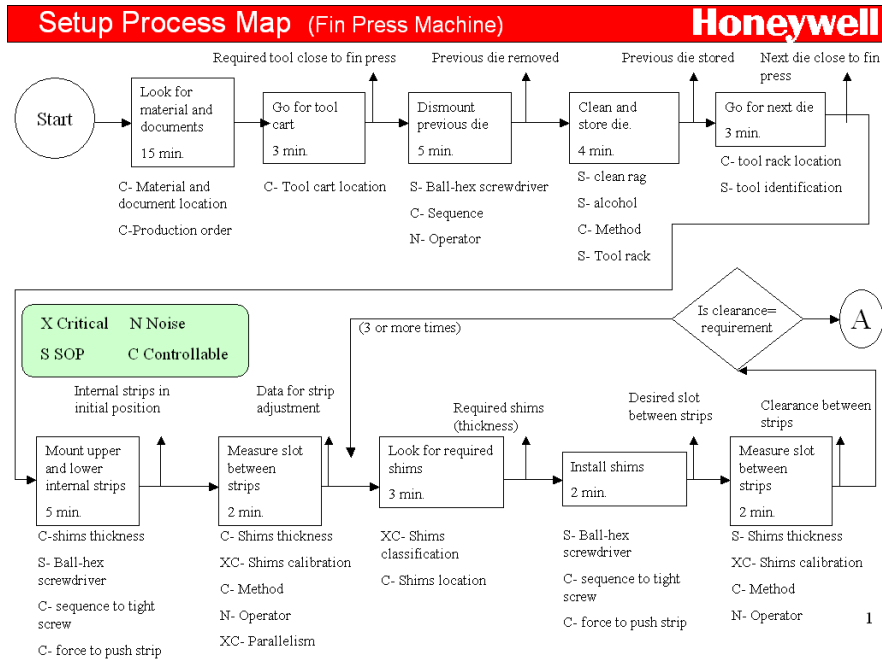


Figura 46. Mapa de Proceso detallado de el setup de las prensas de fabricación de aletas

Ver anexo II el mapa de proceso completo

¿Todos los setups son iguales? ¿Siguen el mismo número de operaciones y secuencia?

No, basados en el mapa de proceso encontramos que no todos los setups son iguales. Según las características de la aleta fabricada anteriormente y su similitud con las de la aleta siguiente, algunas operaciones del setup podrían ser omitidas, por lo que una de las acciones de mejora fue crear una matriz con todos los números de parte de aletas y sus características, se crearon familias de producto (Figura 47).

De tal manera que siguiendo una secuencia de fabricación basados en las similitudes, podrían minimizarse la complejidad de los setups, lo que facilita agilizar el flujo de producción en el área. (Figura 48)

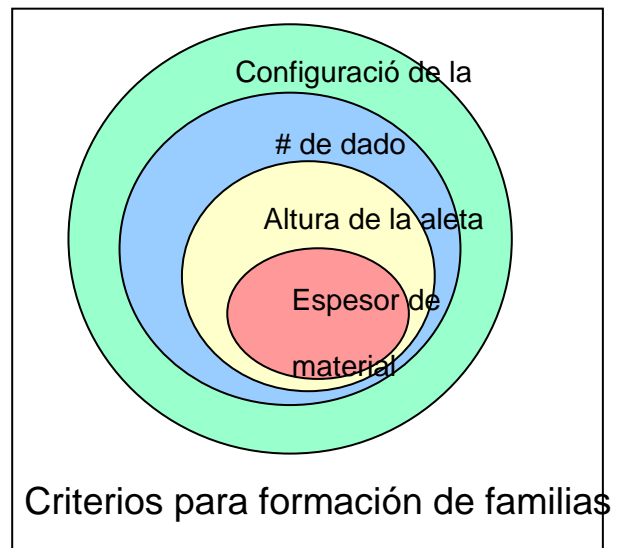


Figura 47 Criterios para formación de familias de aletas

Matriz de productos									
	MOT Part Number	Fin Type	Tool Num	Min Height (In)	Max Height (In)	Raw	Thickness	Width	Material
1	S9281-053-0011	offset	T670073	0.200	0.202	R2710-430-5-318-005	0.006	5.330	ALUM
2	S7469-125-0700	offset	T670073	0.083	0.085	R2738-200-12-54-005	0.004	12.555	AL
3	S7469-125-0808	offset	T670073	0.083	0.085	R2738-200-12-54-005	0.004	12.555	AL
4	S9536-057-0118	offset	T670073	0.078	0.080	R2709-0-5-762-005	0.004	5.770	ALUM
5	S9452-076-0500	offset	T670073	0.075	0.077	R1273-0-7-65-005	0.003	7.660	NICKEL
6	S7479-050-0107	offset	T670073	0.075	0.077	R1204-590-4-985-005	0.004	5.000	cres 347
7	S9198-030-0103	offset	T670073	0.075	0.077	R1293-0-2-985-005	0.004	2.985	NIQ
8	S9198-050-0107	offset	T670073	0.075	0.077	R1293-0-4-985-005	0.004	4.985	NIQ
9	S7224-063-0200	offset	T670073	0.075	0.077	R2738-300-6-318-005	0.006	6.300	AL
10	R2					738-300-6-61-005	0.006	6.610	AL
11	23					738-300-16-500-005	0.006	16.500	AL
12	23					738-200-3-720-005	0.006	18.000	AL
13	P0					738-300-3-5-005	0.004	3.720	AL
14	23					739-500-4-100-005	0.012	4.100	AL
26	S9					682-620-22-485-005	0.005	11.500	Copper
27	2308547-13	offset	T399568	0.129	0.131	R2738-200-13-300-005	0.004	13.300	AL
28	2308547-15	offset	T399568	0.129	0.131	R2738-200-13-300-005	0.004	13.300	AL
29	2306848-17	offset	T399568	0.125	0.127	R1204-586-9-615-005	0.003	9.600	AL
30	2306368-17	offset	T399568	0.125	0.127	R1273-0-4-635-005	0.003	4.635	NICKEL
31	S9148-066-0903	offset	T399568	0.125	0.127	R1293-0-6-735-005	0.004	6.750	NIQ
32	2305259-1	Offset	T399568	0.125	0.127	R1204-590-8-75-005	0.004	8.750	347 ST
33	S7128-180-0104	offset	T399568	0.125	0.127	R2738-300-2-285-005	0.006	18.000	AL
34	88029-164-0215	offset	T399568	0.100	0.102	R2754-300-16-485-005	0.001	16.500	AL
35	2306368-15	offset	T399568	0.100	0.102	R1204-586-4-135-005	0.003	4.135	347 ST
36	S7234-115-0100	offset	T399568	0.100	0.102	R2738-300-11-61-005	0.006	11.750	AL
48	2306288-13	offset	T603676	0.394	0.396	R2738-200-4-76-005	0.004	4.750	ALUM
49	S9240-050-0710	offset	T603676	0.320	0.322	R2710-430-4-985-005	0.004	4.985	AL
50	S7510-050-0710	offset	T603676	0.312	0.314	R2738-200-4-985-005	0.004	5.000	ALUM
51	2372668-11	offset	T603676	0.280	0.282	R2738-300-2-77-005	0.006	2.770	AL
52	2306287-13	offset	T603676	0.266	0.268	R2738-200-3-51-005	0.004	3.510	ALUM

Partes ordenadas para minimizar el cambio requerido para correr el siguiente número de parte.

Figura 48. Secuencia de producción de Aletas

¿En que pasos del setup nos tenemos que enfocar para lograr el mayor beneficio?

Se realizó una matriz causa & efecto para encontrar cuales de los pasos del setup tenían un mayor impacto en tiempo de preparación, se dividieron en dos grupos, los pasos identificados como operaciones internas (Figura 49 a) y los pasos identificados como operaciones externas Figura 49 b). Los pasos mas impactantes son según se muestra en las matrices.

		Internal Operation	External Operation	Setup time	5	Fin Height	3	Flow	3	Total Value
Inputs					5		3		3	
Step #										
9	Adjust gap between strips	X		9	45	9	27	3	9	81
25	Adjust fin height	X		9	45	9	27	1	3	75
17	Set gap between punches and strips equal to material thickness	X		7	35	9	27	1	3	65
30	Final adjustment	X		5	25	5	15	7	21	61
7	Set pitch	X		5	25	1	3	7	21	49
16	measure gap between punch and strips	X		5	25	7	21	1	3	49
11	Align punches	X		7	35	1	3	3	9	47
12	align lower strip	X		7	35	1	3	3	9	47
10	mount upper punch	X		5	25	5	15	1	3	43
14	Verify punch alignment	X		7	35	1	3	1	3	41

Figura 49 a. Matriz Causa – Efecto para operaciones internas

Fin press Setup										
		Internal Operation	External Operation	Setup time	5	Fin Height	3	Flow	3	Total Value
Inputs					5		3		3	
28	Flow test		X	7	35	1	3	7	21	59
2	Look for documents and material		X	7	35	1	3	1	3	41
5	Clean and store previous die		X	5	25	1	3	1	3	31
29	Prepare cutting table		X	5	25	1	3	1	3	31
31	SPC		X	5	25	1	3	1	3	31
32	Prepare container		X	5	25	1	3	1	3	31
1	Look for tooling		X	3	15	1	3	1	3	21
3	Disposition of previous material waste		X	3	15	1	3	1	3	21
6	Look for next die		X	3	15	1	3	1	3	21
					735		147		135	

Figura 49 b. Matriz Causa – Efecto para operaciones externas

En los pasos internos, los mas impactantes fueron:

- Ajustar la claridad entre los strips del dado
- Ajuste final de la altura del la aleta
- Ajustar claridad del dado igual al espesor del material



Figura 50 b. FMEA de operaciones de setup internas.

Los criterios para ponderar la severidad, ocurrencia y control son los siguientes (Figura 51):

	S E V	Causas	O C C	Controles	D E T
No impact	1	It have not happened	1	control in place, documented and proved.	1
low severity	3	seldom	3		3
Setup delayed	5	sometimes	5	Documented control	5
Change production program	7	It always happens in most used dies or P/N with highest demand.	7		7
Unable to produce the part	9	Every setup	9	No control	9
Criteria for factors evaluation					

¿Están alineadas las acciones identificadas con la fase I del SMED y como se implementarán?

Como parte de las acciones que son relativas a la fase I del SMED, es asegurar que aquellas actividades que pueden ser realizadas antes de parar la máquina encontramos las de asegurar material y herramienta en punto de uso, esto siguiendo la matriz de producción, los operadores fácilmente pueden dar seguimiento al orden de producción planeado y preparando por adelantado algunas condiciones.

Para lograr esto se utilizó un rack de punto de uso para material y herramienta (dado de formado) Figura 52.

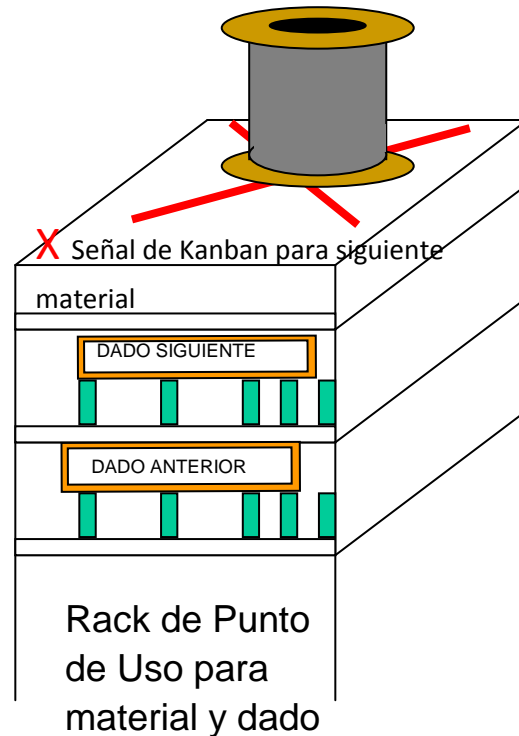


Figura 52. Rack de punto de uso de material y herramienta.

De esta manera se asegura que antes de iniciar un setup el dado y el material van a estar listos y disponibles, además de controlar el trabajo en proceso (WIP) al limitar la cantidad de material en piso a un rollo por maquina en espera. Para clarificar los puntos de verificación de material y dado por adelantado se desarrollo una instrucción de trabajo mencionado entre otros puntos:

- Responsable de dar seguimiento a la instrucción
- Como identificar número de parte siguiente
- Puntos a verificar del paquete de documentos
- El uso de la señal de Kanban de punto de uso del material
- Verificación dimensional del material
- Identificación de herramienta (dado de formado) a utilizar
- Verificaciones necesarias al dado para garantizar capacidad para fabricar la parte
- Utilización del rack para el dado en punto de uso
- Plan de reacción para condiciones inesperadas.

Para ver instrucción de trabajo completa ver anexo III

¿Qué acciones de las identificadas en el FMEA están alineadas con la fase II del SMED?

La fabricación de plantillas de referencia para facilitar la preparación del área de trabajo removió movió operaciones de setup interno a setup externo. Estas placas de referencia preparan por anticipado

las condiciones de operación además de mejorar la calidad del producto al tener mayor certeza de tener las dimensiones correctas, ya que se elimina el error del operador cuando hace sus propias referencias o estándares.

¿Qué acciones de las identificadas en el FMEA están alineadas con la fase III del SMED?

- Programa de mantenimiento a los dados para prevenir fallas en la prueba funcional
- El precálculo de ajustes para facilitar el setup
- Facilitarle al operador una calculadora para evitar errores de calculo
- 5S's en Herramientas y dispositivos de ajuste
- Inventario y fabricación de herramientas auxiliares y dispositivos de ajuste

¿Cuál es el impacto de que la aleta falle la prueba funcional de flujo?

La parte no puede ser fabricada, todo el trabajo desarrollado en el setup fue un desperdicio, la orden se retrasa esperando autorización del departamento de ingeniería en Torrance generando tiempo muerto en la máquina, en la mayoría de los casos la fabricación de los casos la fabricación de la parte tiene que ser retrasada uno o dos días, con lo que además se rompe la secuencia de producción planeada.

¿Cómo está el sistema de medición de la prueba funcional de flujo?

Totalmente inaceptable, el sistema de medición contribuía con el 93% de la variación del sistema como se muestra en la siguiente gráfica (Figura 53).

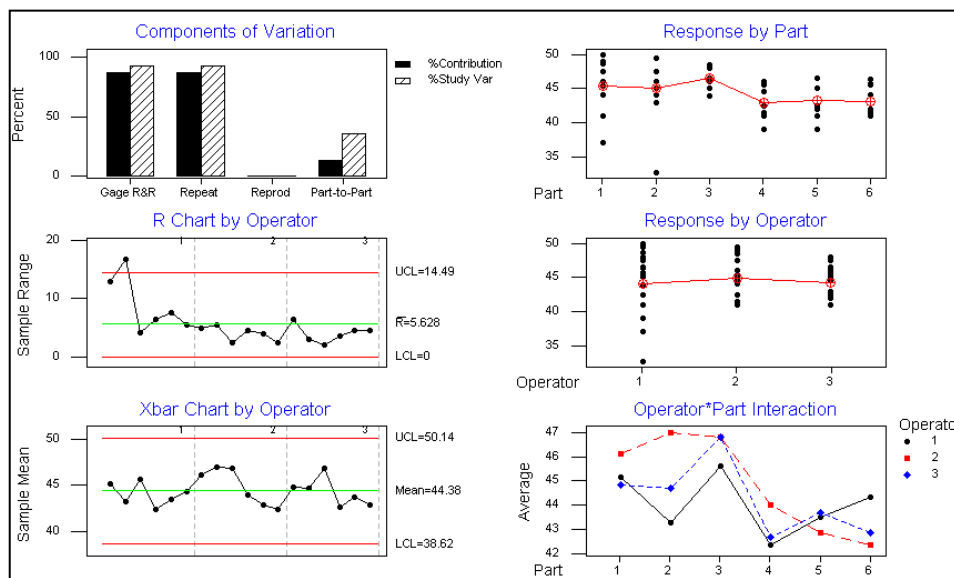


Figura 53. MSE de la prueba funcional de flujo.

Datos completos del MSE en flujo ver anexo IV

¿Cómo podemos validar las fuentes de variación al sistema?

Conduciendo un análisis de componentes de variación podemos localizar las fuentes de variación, para poder realizar un análisis mas profundo del elemento que mayor variación aporte al sistema (Figura 55).

Estructura jerárquica del análisis de componentes de variación COV (Figura 54).

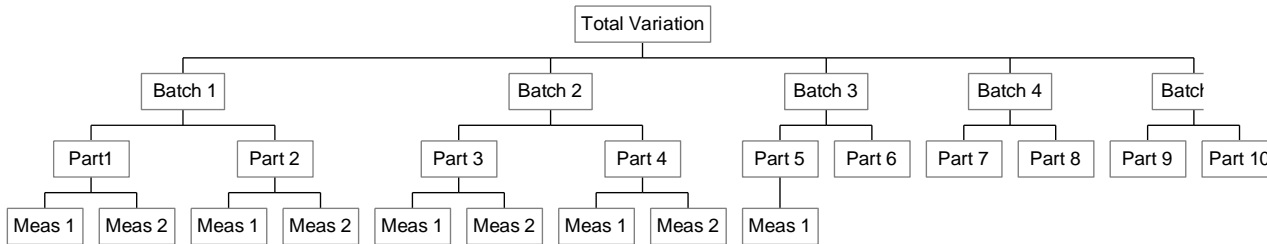


Figura 54 Estructura jerárquica para el análisis COV.

	Batch	Part	Meas	Flow	Meas Level	Part Averages	Part Level	Batch Averages	Batch Level
1	2	1	1	42.2	2.8	40.8	1.3	40.15	2.7
2	2	1	2	39.4					
3	2	2	1	40	1	39.5			
4	2	2	2	39					
5	3	1	1	39	3.3	40.65	4.4	42.85	0.9
6	3	1	2	42.3					
7	3	2	1	45.5	0.9	45.05			
8	3	2	2	44.6					
9	4	1	1	43.5	0.1	43.45	0.6	43.75	1.875
10	4	1	2	43.4					
11	4	2	1	42.7	2.7	44.05			
12	4	2	2	45.4					
13	5	1	1	44.1	2.8	45.5	0.25	45.625	
14	5	1	2	46.9					
15	5	2	1	46.1	0.7	45.75			
16	5	2	2	45.4					
Avg Flow				43.09					
Average=					1.79	Average=	1.64	Average=	1.83
$\sigma_{\text{measurement}}^2=$					1.58	$\sigma_{\text{part}}^2=$	0.66	$\sigma_{\text{batch}}^2=$	0.89

$\sigma_{\text{Total}}^2$  3.136082

Percent Contribution= 50.5% 21.0% 28.4%

Figura 55 Datos de análisis de COV.

Gráficos del COV ver anexo V

Ambos análisis el MSE y el COV identifican un sistema de medición inaceptable, por lo que las acciones iniciarán por mejorar el sistema de medición.

¿Cómo se identifican y cuales son los parámetros críticos del sistema de medición que contribuyen a la variación del sistema?

La identificación de factores se realiza mediante la metodología tradicional de seis sigma, mediante la realización de un mapa de proceso, un FMEA y un DOE para encontrar los parámetros críticos (X)

Análisis completo del sistema de medición de la prueba funcional de las aletas ver anexo VI

Factores seleccionados para el DOE:

- A. Número de filminas de plástico utilizadas
- B. Tipo de tobera
- C. Tipo de esponja
- D. Método de limpieza de la muestra
- E. Aplicación de fuerza externa

Los resultados del DOE se pueden mostrar en la gráfica de efectos (Figura 56):

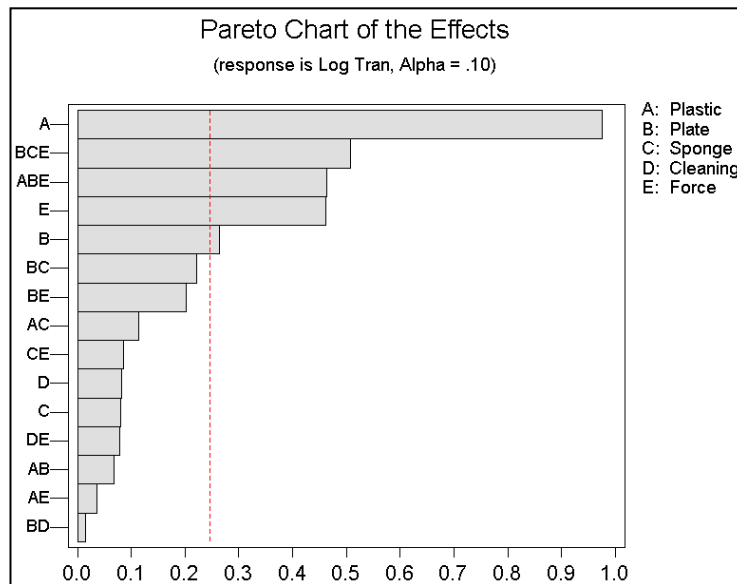


Figura 56. Gráfica de efectos DOE

$$\text{Desviación estandar} = -0.988 + 0.326 * A + 0.188 * B - 0.134 * C - 0.201 * E - 0.25 * B * C * E + 0.154 * A * B * E$$

(Datos transformados)

Niveles de Parámetros

Hojas de plástico: 1 filmina

Tobera: No presentó importancia estadística

España: Tipo dura

Método de limpieza: Limpieza con Keroseno (no hay muestra de importancia estadística, pero reduce el tiempo de operación)

Fuerza: Si, Aplicación de fuerza externa

¿Los nuevos parámetros han mejorado el sistema de medición?

Un nuevo análisis de componentes de variación comprueba la efectividad de las acciones (Figura 57).

	Batch	Part	Meas	Flow	Meas Level	Part Averages	Part Level	Batch Averages	Batch Level
1	2	1	1	48.8	0.4	48.6	0.2	48.7	1.3
2	2	1	2	48.4					
3	2	2	1	48.7	0.2	48.8			
4	2	2	2	48.9					
5	3	1	1	50.6	1	50.1	0.2	50	2.175
6	3	1	2	49.6					
7	3	2	1	49.9	0	49.9			
8	3	2	2	49.9					
9	4	1	1	52	0.2	51.9	0.55	52.175	0.625
10	4	1	2	51.8					
11	4	2	1	52	0.9	52.45			
12	4	2	2	52.9					
13	5	1	1	52.4	0.2	52.3	1.5	51.55	
14	5	1	2	52.2					
15	5	2	1	51.7	1.8	50.8			
16	5	2	2	49.9					
			Avg Flow	50.61					
			Average=	0.59	Average=	0.61	Average=	1.37	
			$\sigma_{\text{measurement}}^2=$	0.52	$\sigma_{\text{part}}^2=$	0.28	$\sigma_{\text{batch}}^2=$	0.94	
			$\sigma_{\text{Total}}^2$	1.743499					
			Percent Contribution=	29.9%	16.2%	53.9%			

Figura 57. COV de comprobación

Con el 29% de contribución a la variación, podemos considerar que la mejora al sistema de medición fue lo suficiente como para confiar en el sistema de medición.

¿Cómo podemos predecir el deterioro del dado de formado que provoca fallas en la prueba funcional de las aletas?

Implementando el control estadístico de procesos, si sabemos que la falta de filo en el dado genera rebabas en el corte y estas rebabas son las causantes de valores altos en la prueba de flujo entonces activando las reglas 2 y 3 de Western Electric (Figura 58) podemos predecir que el desempeño de un dado se está degradando, siendo esto una señal para dar un mantenimiento preventivo, antes de la falla en la prueba.

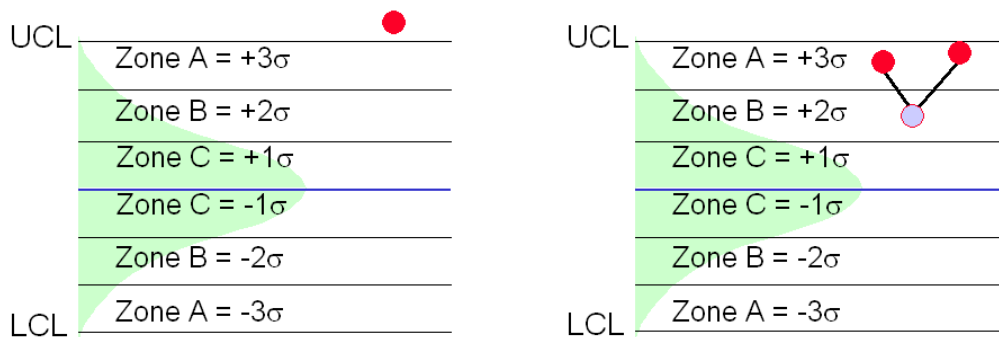


Figura 58. Reglas 2 y 3 de Western Electric

Debido al costo de mantenimiento se decidió que no se realizaría ningún mantenimiento basado en un calendario de mantenimiento por que este tipo de mantenimiento por periodo de tiempo puede incurrir en costos que aun no son necesarios.

¿Es posible realizar el cálculo por anticipado sobre los ajustes requeridos para el setup?

Para poder realizar un cálculo por anticipado del ajuste requerido para cada setup, primeramente es necesario asegurar el paralelismo de la máquina y del dado, por lo que se rectificaron para poder tener un buen paralelismo entre los componentes.

Se desarrolló una base de datos con las características de las aletas, dimensiones de los dados, dimensiones de la máquina de tal manera que dando el número de parte, en que maquina se fabrica y el dado a utilizar un macro en access calcula por anticipado los ajustes requeridos (Figura 59), lo que elimina el proceso de prueba y error que se desarrollaba originalmente.

The screenshot displays an Access application with three main windows: PARTES, Maquina, and DADOS. Below these is a larger window titled 'SHIMS : Form'.

**PARTES** window:  
 PARTES: R249C075F661152  
 ALTURA: 0.076  
 Record: 127 of 248

**Maquina** window:  
 Maquina: Maquina 3  

M1	3.1312	E1	0
M2	3.1297	E2	-0.003
M3	3.1302	E3	-0.002
M4	3.131	E4	-0.002
M5	3.1302	E5	-0.001

 Record: 127 of 248

**DADOS** window:  
 STRIPPER: 670073-C  

U1	1.2978	L1	1.2987
U2	1.2978	L2	1.2987
U3	1.2978	L3	1.2989
U4	1.2974	L4	1.2985
U5	1.2972	L5	1.2984

 Record: 127 of 248

**SHIMS : Form** window:  
 NUMERO DE PARTE: R249C075F661152  
 MAQUINA: Maquina 3  
 NUMERO DE STRIP: 670073-C  

0.169975	0.168875	0.170225	0.169975	0.1697	0.17035
SHIMS STRIP SUPERIOR IZQUIERDO		SHIMS STRIP SUPERIOR CENTRAL		SHIMS STRIP SUPERIOR DERECHO	
0.172975	0.173875	0.173225	0.171975	0.1697	0.17035
SHIMS STRIP INFERIOR IZQUIERDO		SHIMS STRIP INFERIOR CENTRAL		SHIMS STRIP INFERIOR DERECHO	

 Buttons: CALCULAR, IMPRIMIR  
 Record: 1 of 1

Figura 59. Base de datos para ajustes

Forma desarrollada en access para el cálculo por anticipado de los ajustes requeridos en el setup.

¿Cómo facilita el uso de una calculadora en los setups?

La mezcla de partes que se tienen en el área es mayor a los 200 números de parte distintos, con diferentes características, para cada uno es necesario realizar ciertas cuentas para ajustar avances de la máquina, si estas cuentas no son bien realizadas, se pone en peligro el dado con lo que además de el costo de reparación, se podrían tener retrasos en las ordenes y además puede ser que el setup realizado se desperdicie. Por ello el uso de una calculadora para facilitar las cuentas al operador resultó una gran ayuda para agilizar este paso y para realizarlo mas seguro.

¿Cómo las 5S's pueden apoyar la reducción de tiempo de setup?

Al tener toda la herramienta (Figura 60 a) y dispositivos de ajuste ordenados y a la mano (Figura 60 b) elimina la los tiempos de búsqueda, además que al tener identificados claramente los dispositivos de ajuste, se evitan los errores en el montaje.



En los cajones del estante de herramientas se elaboraron foam boards para que cada herramienta tuviera su lugar asignado y evitar el desorde, también se realizó un sist. de identificación por etiquetas.

Figura 60 a. Herramienta ordenada e identificada



En el estante de herramientas se colocaron etiquetas que indican la medida de los gauges, para lograr un acceso más rápido, reduciendo el error a equivocarse en la medida deseada.

Figura 60 a. Elementos de ajustes ordenados e identificados.

¿Como se puede reducir el tiempo de setup teniendo un inventario de los dispositivos de ajuste y en cantidad suficiente?

Por que de esta manera se evita el tener que esperar por que se desocupe algún dispositivo que se este utilizando en otra máquina, además que se realizó una evaluación de las barras paralelas eliminando aquellas que estaban fuera de dimensión (Figura 61), al encontrar algunas barras que no cumplían con la dimensión dio pie a requerir la verificación de la dimensión como una práctica antes de la instalación de cada barra paralela.

Xbar/R Chart for Nom 0.250

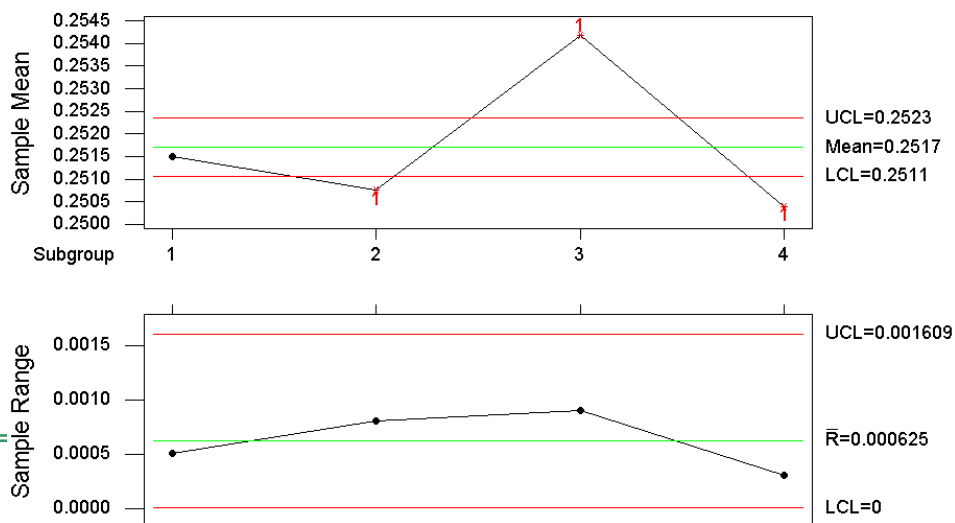


Figura 61 Evaluación del espesor de las barras de ajuste.

¿Hay alguna acción que se pueda hacer para incrementar la seguridad al realizar el setup?

En ocasiones debido al sistema de lubricación del material se tenían derrames de aceite ya que se tenía que sincronizar la el flujo de aceite suministrado y el arrastre de aceite en el material. Un sistema Poka Yoke se implementó en el sistema de lubricación que hace imposible que se presente derrames de aceite del sistema de lubricación.

¿Hay alguna iniciativa que nos permita incrementar la calidad del producto?

Uno de los problemas que se tenían era que existe un requerimiento de SPC para la característica de altura, debido al tipo de gráfico de control seleccionado se tenían alarmas constantes de proceso fuera de control (Figura 62), lo que retrasaba constantemente el setup de las partes.

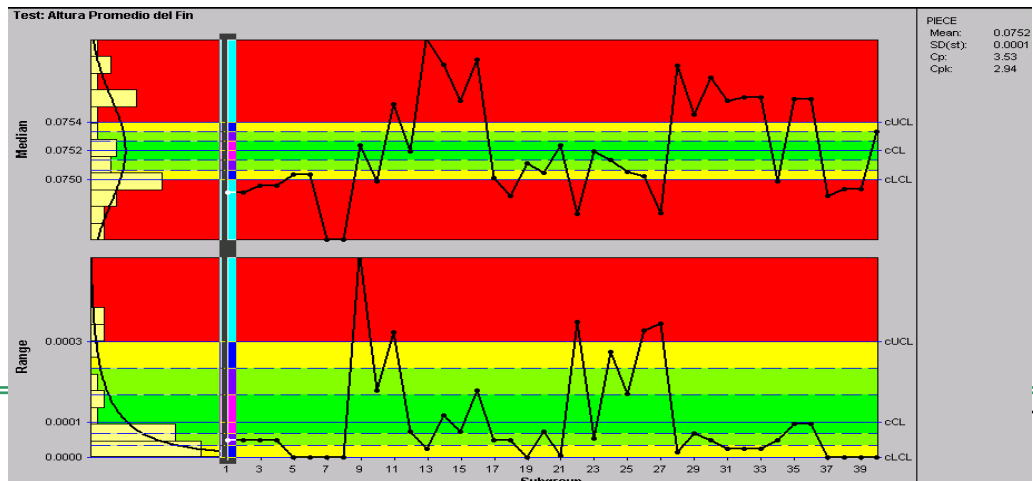


Figura 62 Proceso aparentemente fuera de control estadístico.

Se realizó un análisis para determinar las fuentes de variación COV encontrando que había un error en el tipo de gráfico seleccionado, ya que consideraba las causas comunes de variación como causas especiales por lo que se cambió el tipo de gráfico (Figura 63).

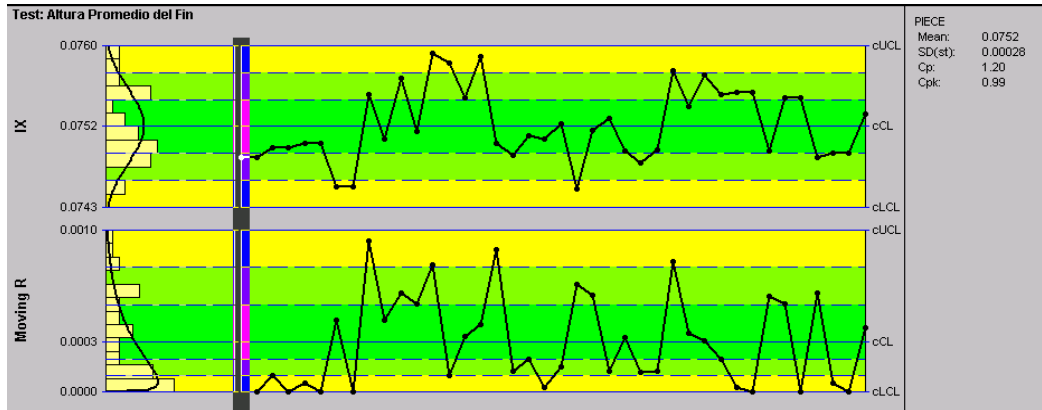


Figura 63. (Cambio al gráfico de control después de la evaluación del subgrupo racional)

Aunque los valores de Cp y Cpk requieren acciones de mejora, el operador no invertirá tiempo contestando causas comunes como causas especiales.

Análisis completo para cambio de gráfico de control ver anexo VII

### 3.2 Resultados de la combinación de metodologías

Tras la aplicación combinada de las dos metodologías integradas por un mapa de pensamiento se utilizaron las siguientes herramientas

- Mapa de pensamiento
- Mapa de cadena de valor
- Cambios rápidos de setup (SMED)
- Mapa de proceso

Matriz causa & efecto (C&E)  
 Análisis de modos de falla y efectos (FMEA)  
 Kanban  
 Punto de uso (POU)  
 Evaluación al sistema de medición (MSE)  
 Componentes de variación (COV)  
 Diseño de experimentos (DOE)  
 Control estadístico de procesos (SPC)  
 5S's  
 Poka Yoke

Los resultados en las métricas son los siguientes:

Métrica	Inicial	Meta	Real final
Entregas a tiempo	20%	85%	90%
Tiempo para procesar una orden	25 días	12 días	5 días
Entregas atrasadas	2 semanas	2 días	1 día

## Capítulo 4 Conclusiones

### 4.1 Conclusiones

Después de la integración de los modelos de mejora seis sigma y manufactura esbelta en el proyecto para mejorar el proceso de fabricación de aletas y al haber obtenido los resultados satisfactorios podemos concluir lo siguiente:

A pesar de que ambas metodologías han demostrado durante años su efectividad, encontramos una sinergia natural al tratar de integrar estas dos metodologías en un mismo proyecto de mejora. Ya que se complementa las herramientas de ambas metodologías entre sí.

Ciertamente es necesario integrar las metodologías bajo un esquema mínimo que de un orden al momento de desarrollar un proyecto. La propuesta es utilizar el Mapa de pensamiento como columna vertebral para la integración de las metodologías, durante el desarrollo del proyecto de aplicación fue particularmente útil el seguimiento al mapa de pensamiento ya que permitió no perder el objetivo fundamental que se había planteado de reducir el tiempo de setup para romper la barrera para el flujo del producto. Aunque es bueno reconocer que los proyectos de mejora pueden tener muy diversos enfoques, es precisamente la flexibilidad en la estructura del mapa de pensamiento la que nos permite proponerlo como el integrador de las metodologías.

Tal y como lo menciona Thomas Bertels, la herramienta que nos guía en un inicio para la selección del área de oportunidad es el mapa de cadena de valor, ya que el permite identificar las oportunidades de mejora que serán atacadas en el proyecto.

Cabe mencionar que hay algunas fases dentro de las metodologías que es conveniente conservar pero sin ligarlas forzosamente a la utilización de una herramienta específica, sino utilizar la herramienta que de respuesta a la pregunta planteada en el mapa de pensamiento.

Por otro lado encontramos que uno de los requisitos para implementar la mejora de cualquier tipo es la estabilidad. Por ello proponemos independientemente de la naturaleza de los proyectos, implementar las herramientas de estabilidad de manufactura esbelta como lo son las 5S's, TPM, Trabajo Estandar y la reducción de la variación, independientemente de la herramienta avanzada que tenga que utilizarse en caa proceso.

Es importante que para el desarrollo de un proyecto en donde se estén integrando las metodologías, se cuente con la asesoría de alguien que domine las ambas metodologías y la naturaleza e intención de cada una de las posibles herramientas, esto con el fin de no forzar la utilización de una herramientas en específico solo por que el asesor o líder se siente mas confiado en el dominio de la misma, sino por el contrario, utilizar una herramienta por que sea la que realmente es la mas adecuada para responder la pregunta en cuestión.

Por los resultados documentados se puede concluir que la integración de las metodologías es una nueva vía para desarrollar proyectos de mejora la sinergia entre ambas es evidente y los resultados al negocio obviamente se esperan sean mejores.

Claro que esta estrategia desatará una nueva necesidad de capacitación a líderes de proyectos, consultores y a la gerencia de las compañías. Pero en este ambiente competitivo mundial, difícilmente las compañías se conformarán con las metodologías tradicionales mientras los competidores están en una constante búsqueda por la mejora de procesos.

## Referencias Bibliográficas

Green Belt Training

Honeywell International Inc.

Año 2000, 1998

Black Belt Training

Honeywell International Inc.

Año 2000

Potential Failure Mode and Effects Analysis

Reference Manual Chrysler Corporation, Ford Corporation, GM Corporation

Second Edition

Año 1995

The Haystack Syndrome

Eliyahu M. Goldratt

Ed. North River Press

Año 1990

The Six Sigma Way

Peter S. Pande, Robert P Neuman, Roland R. Cavanagh

Ed. Mcgraw-Hill

Año 2000

Occupational Ergonomics Training

Steward & Associates

Año 1999

Poka Yoke

Nikkan Kogyo

Ed. Productivity Press

Año. 1991

Una revolución en la Producción: El sistema SMED

Shingeo Shingo

Ed. Productivity Press

Año 1990

Entrenamiento de Herramientas de Manufactura

Honeywell International Inc.

Año 2001

Diplomado: Manufactura de Clase Mundial

Tecnológico de Monterrey

Año 1999

5 Pilares de la fábrica visual

Hiroyuki Hirano

Ed. Productivity Press

Año 1997 (edición en español)

Manual para la implantación del JIT

Hiroyuki Hirano

Ed. Productivity Press

Año 1991

Lean Expert Training

Honeywell International Inc.

Año 2000

Learning to See

Mike Rother, John Shook

1ra edición

Lean Enterprise Institute

Año 1999

Lean Thinking

James P. Womack, Daniel T. Jones

## Entradas X's

1ra edición  
Ed. Simon & Schuster  
Año 1996

The machine that change the world  
James P. Womack  
1ra edición por HarperPerennial  
Año 1991

Ref. 1 Panel Discussion Lean Six Sigma, Ramón V. León, Six Sigma Forum Magazine, V. 2 No. 2 (2002: Nov)

Ref. 2 Are Six Sigma and Lean manufacturing really different? Are they synergistic or in conflict?, Godfrey, Six Sigma Forum Magazine, V. 2 No. 2 (2002: Nov)

Ref. 3 Six Sigma Plus ([www.honeywell.com/sixsigma](http://www.honeywell.com/sixsigma))

Ref. 4 ISixSigma LLC ([www.isixsigma.com](http://www.isixsigma.com))

Ref. 5 Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability, Mikel J. Harry, Quality Progress 1998 may pag, 60-64

Ref. 6 The Analytic Examination of time-dependent variance components, Richard D. Sanders, Quality Engineer 7(2) pag 315-336 (1994-1995)

Ref. 7 Understanding Variation, Thomas W. Nolan, Quality Progress may 1990 pag. 70-75

Ref. 8 The Thought Map Cheryl Hild, Doug Sanders, and Bill Ross Quality Engineering 12(1), 21-27 (1999-2000)

Ref. 9 Planning a Control Chart, Kevin M. nolan, Quality Progress 1990 page 52-54

Ref. 10 Implementing SPC with Signetics Production Personnel, Cynthia Butler. Quality Progress April 1986, pag. 42-50

Ref. 11 The Experimentation Process, Jeff Knowtton, Quality Progress February 1993, pag. 43-50 .

Ref 12 Integrating Lean and Six Sigma – The Power of an integrated Roadmap, Thomas Bertels  
<http://www.isixsigma.com/library/content/c030721a.asp>