

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO DE MEJORA BASADO EN LAS ESTRATEGIAS LEAN MANUFACTURING Y SIX SIGMA, CASO DE ESTUDIO BEACHMOLD MÉXICO

Francisco González-Correa

Beachmold México S. de R.L. de C.V.

francisco170879@yahoo.com.mx

Eugenio Guzmán-Soria

Instituto Tecnológico de Celaya

eugenio@itc.mx

Juvenio Hernández-Martínez

Centro Universitario UAEM Temascaltepec

Universidad Autónoma del Estado de México

Samuel Rebollar-Rebollar

Centro Universitario UAEM Temascaltepec

Universidad Autónoma del Estado de México

RESUMEN

Para establecer un proyecto de mejora en la empresa Beachmold México, fueron aplicadas herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma en la duración de cambios de molde, el cual fue detectado usando la gráfica de Pareto y con base en un estudio de capacidad se analizó la condición actual del proceso (769,852.3 PPM potenciales). Mediante la implementación de las herramientas SMED (Single Minute Exchange of Die) y trabajo estandarizado, se implementó una

HOE (Hoja de Operación Estándar) la cual se utilizó para el entrenamiento del personal que participa en el cambio de molde. El proceso tuvo una mejora de 75%, obteniendo un resultado de 188,094.53 PPM, esto significó una reducción en la duración del cambio de molde de 350 a 189 minutos promedios durante el mes. Esta reducción en el tiempo, permitirá a la organización tener un incremento de la variedad de productos que se fabrican en el mes, logrando con esto la integración de nuevos clientes.

Palabras clave: trabajo estandarizado, mejora continua, calidad.

Clasificación JEL: M11

Introducción

En los últimos años con seguridad se ha escuchado el concepto de Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) en la industria. Sin embargo, es pertinente hacer mención que *lean* no solo es aplicable en la manufactura sino que también cualquier área de la organización puede aprovechar sus conceptos y verse beneficiada por su pensamiento. Muchas empresas han encontrado en la metodología *Six Sigma* un gran aliado para el mejoramiento de sus productos y servicios

mejorando el desempeño de los procesos que generan estos productos o servicios (Breyfogle, 2003).

Es común escuchar a muchas personas en el ámbito empresarial que al hablar de lean y Six Sigma, piensan que puede ser la solución a todos sus problemas, que es la moda que los llevara de la mano a competir con los grandes en este mundo globalizado, pero nunca se detienen a pensar si es la mejor herramienta (filosofía por concepto) para solucionar un problema en específico, si no por el contrario, ven sus problemas como un todo o más bien como uno sólo y como tal quieren que se solucione con una herramienta.

La presente investigación se desarrolla en la empresa Beachmold México S. de R. L. de C. V., planta Querétaro y presenta el análisis, aplicación y solución a un caso de estudio, “Reducción de Tiempo en Cambios de Molde” mediante la metodología Six Sigma y usando herramientas de Lean Manufacturing para su mejoramiento. La empresa citada fue fundada en 1972, bajo el nombre de Beach Mold and Tool, Inc. en Jeffersontown, KY, USA, pero con el paso de los años se reubicaron en donde actualmente es el corporativo de la compañía, New Albany, Indiana. Con un crecimiento sostenido a través de más de tres décadas y con el objetivo de satisfacer las crecientes necesidades de sus clientes, los cuales pueden ser encontrados en la lista de las mejores 500 empresas del mundo, Hoy es día cuenta con más

de 1400 empleados y más de 750,000 pies cuadrados entre sus 4 plantas de producción (New Albany, Indiana; Emporia, Virginia; Reynosa y Querétaro, México) y 6 centros de distribución (Austin, Texas; McAllen, Texas; Nashville, Tennessee; Limerick, Ireland; Penang, Malaysia y Xiamen, China) (Beachmold México, 2008a).

El corporativo de México está ubicado en la planta de Querétaro, el cual tiene a su cargo la operación de las dos plantas ubicadas en territorio nacional, las cuales operan bajo el nombre de Beachmold México S. de R. L. de C. V. con más de 700 empleados y 75 máquinas de inyección de molde, está comprometido a mejorar eficientemente los procesos de la organización. La Misión y los valores de la organización llevaron a que la nueva administración en el 2006 se planteara como objetivo estratégico de la organización la implementación de un sistema de mejora continua basado en las filosofías Lean Manufacturing y Six Sigma, con el cual ayudarían al mejoramiento de los procesos y a la reducción de los costos de operación.

El principal reto que Beachmold México enfrentaba es que no lograba alcanzar los niveles de producción requeridos por el departamento de planeación, pero tampoco se contaba con un correcto método para medir la ineficiencia de la operación. Vía el análisis de la información con la que la compañía contaba, se detectaron dos grandes causas:

- Exceso en material mermado y retrabajos
- Exceso de tiempos muertos

Se analizó primero el material que era retrabajado y el material mermado, ya que esta información se tenía disponible en el sistema de la organización. Este análisis preliminar de la información de la merma arrojó tres principales causas (Tabla 1) por las cuales el material era considerado como merma:

- Material mal ensamblado
- Material contaminado
- Merma generada durante los arranques

Tabla 1. Beachmold México: Cantidad en pesos mermada por causa, 2007.

Last Updated on : 01/03/08 1:48:46PM		
<u>Reason</u>	<u>Qty</u>	<u>Amount</u>
Mold Shop : Contaminated	-516,519	\$3,062,871.11
Assembly : MisAssembled	-534,711	\$1,211,459.58
Mold Shop : Start-up	-206,068	\$1,173,746.27
.	-646,347	\$1,168,668.60
Mold Shop : Short	-244,069	\$722,096.91
Mold Shop : Broken/Cracked	-53,288	\$403,903.53
Mold Shop : Burr/Flash	-241,587	\$383,944.03
Mold Shop : Splay	-43,588	\$314,278.82

Fuente: Beachmold México, 2008b.

Este problema se analizó a detalle, considerando únicamente la información del mes de Agosto de 2007 (Inicio del

proyecto) donde se observó que la principal causa para este mes fue la merma generada en los arranques (Start-up).

En un segundo enfoque se analizaron las causas potenciales de la merma por arranque, teniendo dos grandes contribuidores (Gráfica 1):

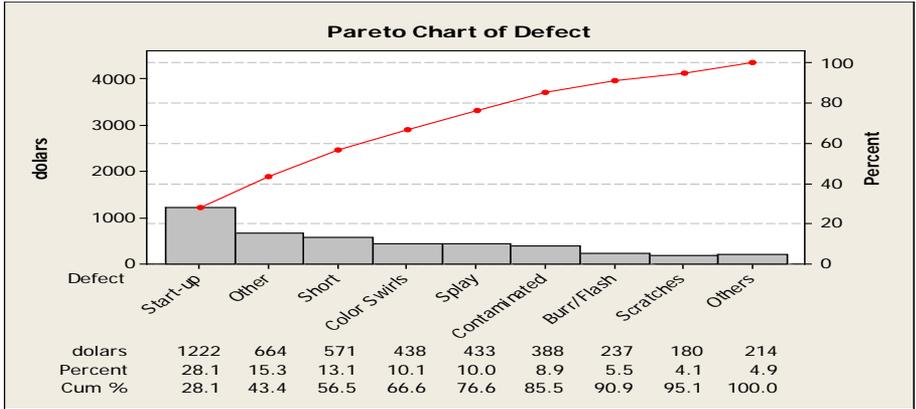
- Productos mermados después de un cambio de molde
- Productos mermados durante el arranque de la maquina después de un paro programado

El proyecto se centro en la principal causa ya que se tenía en promedio 275 cambios de productos (cambios de molde por tratarse de una organización dedicada a la inyección de plástico) al mes. Los cambios de molde, no eran controlados en tiempo, únicamente eran programados y se realizaban conforme la producción de los productos se fuera completando, esto generaba que el programa de producción se atrasara, siendo este el principal problema de la organización, ya que se ponía en riesgo el parar las líneas de ensamble de los clientes de Beachmold México.

Se determinó que el problema principal era el tiempo que se tarda en completarse el cambio de molde (más adelante se explicara cual es la forma correcta de medir este indicador en la industria) y el proyecto de mejora se definió como “Reducción de Tiempo en Cambios de Molde”; se estableció como hipótesis que las filosofías Lean Manufacturing y Six

Sigma ayudaran a la reducción del tiempo de cambio de molde, significativamente.

Gráfica 1. Pareto de causas de merma.



Fuente: Beachmold México, 2008b.

Materiales y métodos

La metodología utilizada fue la aplicación del SMED a través del Breakthrough Strategy®, la cual está basada en el DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) de Six Sigma; esta estrategia rompedora consta de 12 pasos y fue apoyada con el uso de herramientas estadísticas, de calidad y de lean manufacturing.

Breakthrough Strategy®

Esta estrategia ayuda al usuario de Six Sigma a llevar un correcto orden en el uso e implementación de las herramientas de estadísticas, de Lean Manufacturing y de calidad:

1) Seleccionar la característica crítica para la calidad

(CTQ): El objetivo de este paso es encontrar el problema que se va a mejorar y justificarlo.

2) Definir el estándar de desempeño: Aquí se determina cómo se va a medir el CTQ seleccionado.

3) Validar el sistema de medición (Y's): Determinar que tan confiable es la medición del estándar de desempeño del CTQ seleccionado.

4) Establecer la capacidad del producto: En este paso se determina cuanta variación se tiene en el CTQ seleccionado y determinar qué tipo de problema estadístico se tiene.

5) Definir los objetivos de desempeño: El objetivo de este paso es determinar en qué momento se podrá decir que el proyecto ya está terminado.

6) Identificar las fuentes de variación: Determinar qué factores pueden estar afectando el CTQ seleccionado.

7) Tamizar las causas potenciales: Aquí se identifican las causas vitales que afectan el CTQ.

8) Encontrar la relación entre las variables: El objetivo de este paso es determinar cómo afectan al CTQ los factores triviales y encontrar los valores óptimos de operación.

9) Establecer las tolerancias de operación: Determinar las especificaciones que se deben seguir para controlar los factores poco triviales.

10) Validar el sistema de medición (X's): Aquí se determina que tan bien se están midiendo los factores vitales.

11) Determinar la capacidad del proceso: En este paso es determinar si el proceso será capaz de cumplir con las tolerancias requeridas en los factores vitales.

12) Implementar los controles de proceso: El objetivo de este último paso es establecer controles para asegurar que el cambio realizado permanecerá en el tiempo hasta que se presente una nueva mejora, definir acciones de mejora concretas, evaluar los beneficios logrados, verificar si se lograron los objetivos planteados, así como también verificar si se puede replicar en otras máquinas, plantas del grupo o procesos similares y por último felicitar al equipo que participó en la implementación.

El desarrollo de cada uno de los pasos es comentado en el apartado siguiente.

Resultados y discusión

Aplicación del Breakthrough Strategy®:

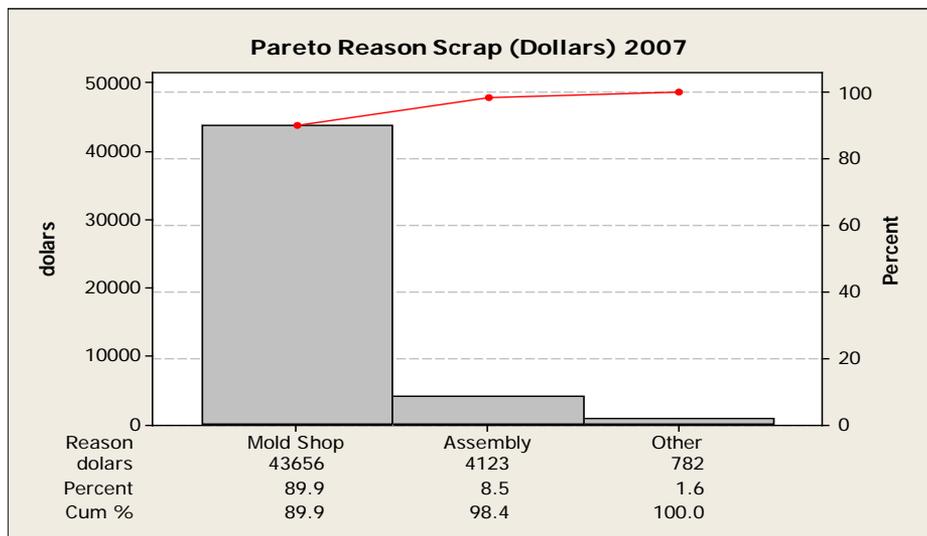
1. Seleccionar la característica crítica para la calidad (CTQ)

Al inicio de este proyecto no se contaba con la información adecuada dentro de la organización, partiendo de la premisa de “lo que no se mide, no se mejora”, la única información confiable con la que se contaba fue con la información del scrap (ya que era un punto crítico para la organización) y las

razones de este scrap. Se analizó todo el producto mermado durante el año 2007 de toda la planta de Querétaro; debido a que se tenía una gran variedad de productos y estos a su vez tenían un diferente costo de producción, este primer enfoque tomo en cuenta dos características: la cantidad de piezas mermadas y el costo de las mismas.

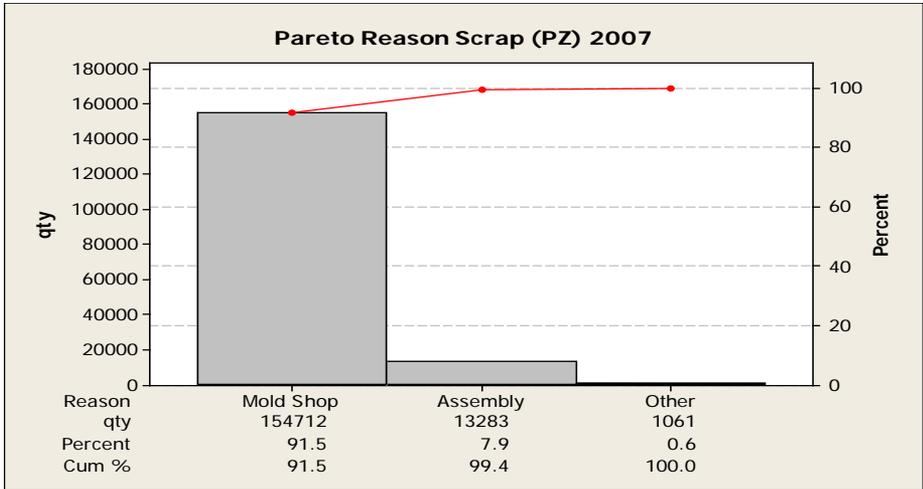
En la Gráfica 2 se puede observar que 89.9% del costo de la piezas mermadas era generado por el área de moldeo, en la Gráfica 3 se observa que la cantidad de piezas mermadas se comporta de manera similar, y que un 91.5% del total de las piezas mermadas provenía del área de moldeo.

Gráfica 2. Beachmold México: Pareto de scrap por área, 2007 (Dólares).



Fuente: Beachmold México, 2008b.

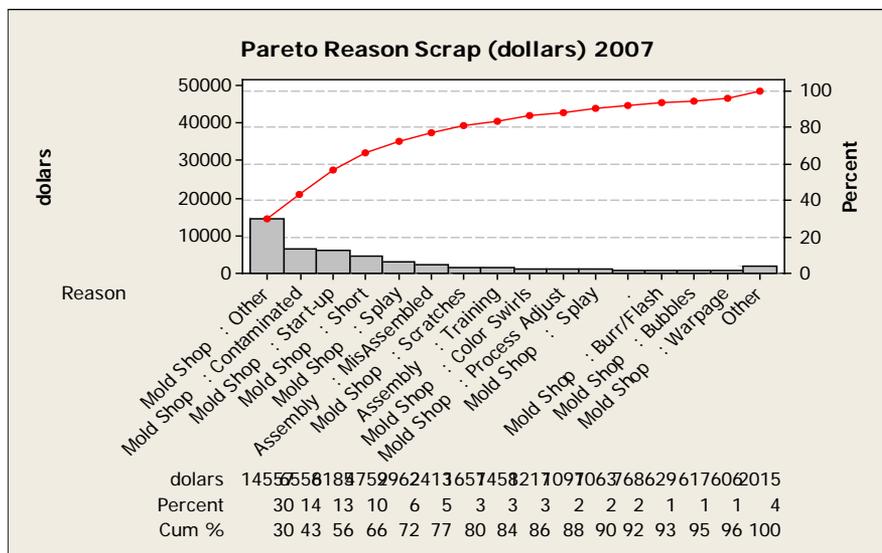
Gráfica 3. Beachmold México: Pareto de scrap por área, 2007 (Piezas).



Fuente: Beachmold México, 2008b.

Basado en la información de este primer análisis, se continuó analizando únicamente las causas de las piezas mermadas del área de moldeo, a esto se le conoce como análisis de segundo nivel o Pareto de segundo nivel. Este Pareto de segundo nivel (Gráfica 4) mostró que las tres mayores causas del scrap eran: Otros (Other), Contaminación (contaminated) y Arranques (Start up). Como la información otros no arroja ninguna información útil, se tuvieron que tomar acciones, primero se indago de donde provenía esta información con los expertos del área de moldeo y ellos comentaron que del reporte de producción.

Gráfica 4. Beachmold México: Pareto de segundo nivel, 2007 (Dólares).



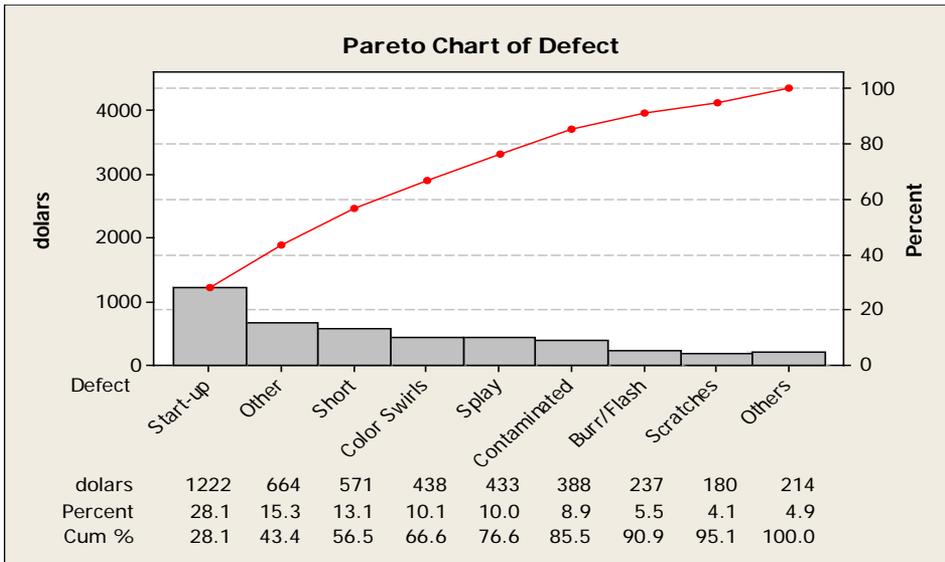
Fuente: Beachmold México, 2008b.

Se decidió no continuar hasta corregir la información, bajo la premisa “lo que no se mide, no se mejora; pero lo que se mide mal, seguirá mal” y esto obstruirá las correctas decisiones de la implementación de las mejoras. Se decidió retirar la causa “otros” del reporte de producción y analizar la información de nuevo, durante el mes de agosto.

La Gráfica 5 muestra la información del scrap del mes de Agosto de 2007, donde la principal causa del scrap del área de moldeo era Start-up (Arranques); como una segunda acción, se determinó en qué momento se generaba el scrap por arranque. El scrap por arranque se utilizaba siempre que el operador de procesos acudía a la máquina a realizar alguna

actividad, ya fuera por cambio de molde, arranque de producción después de un paro programado o mantenimiento correctivo o preventivo y todas las veces que acudía a la máquina a realizar ajuste en el proceso de inyección.

Gráfica 5. Beachmold México: Pareto de segundo nivel, 2007 (Dólares).

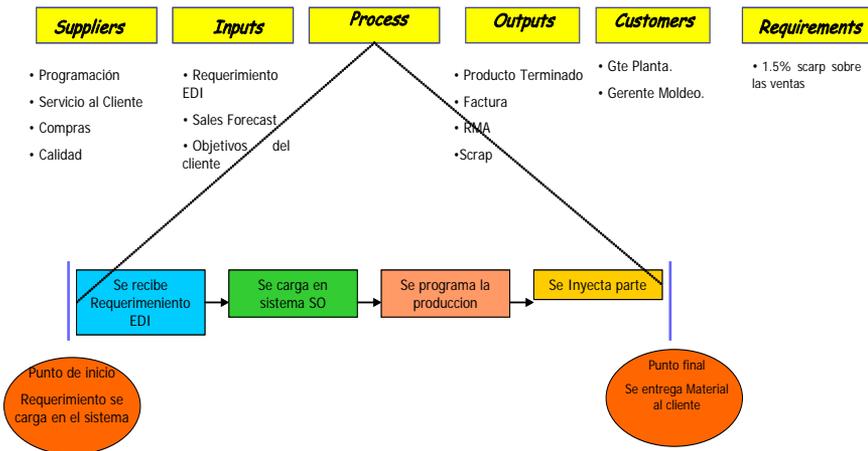


Fuente: Beachmold México, 2008b.

Se decidió generar una nueva causa de scrap, Ajuste de Proceso, la cual sería utilizada después de haber sido liberado de calidad (en teoría el proceso debe de mantenerse en control) y la causa de Arranque se quedaría para cualquier arranque de producción, el cual requiera liberación de calidad. Además se estableció como control que estas dos causas únicamente serian utilizadas por los operadores de

Procesos, los cuales eran los que en realidad generaban este scrap y no por los operadores de producción, los cuales seguirían reportando el resto de las causas; las cuales son generadas durante el proceso de inyección. Estos cambios fueron incorporados al reporte de producción. Mediante la herramienta del mapeo de proceso se definieron los límites del proceso a mejorar, se utilizó un SIPOC, el cual incluye las entradas (Inputs) y las salidas (Outputs) incluyendo a los proveedores (Suppliers) y clientes (Customers), la Figura 1 muestra este mapa de proceso SIPOC de alto nivel.

Figura 1. Mapa de proceso SIPOC de alto nivel, 2007.



Fuente: Beachmold México, 2008b.

La variable seleccionada a mejorar en este proyecto se definió como el tiempo de cambio de molde, ya que el proceso que genera el scrap por arranque son los cambios de molde. Para medir el impacto financiero del proyecto se utilizó la herramienta de COPQ (Costo de Pobre Calidad,

Cost of Poor Quality), el cual tiene como objetivo evaluar todos los posibles beneficios que se obtendrían, tanto tangibles como intangibles (Tabla 2). La metodología utilizada fue “absorción de fijos”, vía la cual se observa cuánto cuesta un minuto de una máquina parada, por el simple hecho de ser parte de la organización, ya que los gastos fijos se tienen que seguir pagando, electricidad, agua, mano de obra, renta del edificio, etc.

Tabla 2. Beachmold México: Costo de pobre calidad, 2007.

	2006												Total
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
2006 StartUp Scrap Cost	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 9.01	\$ 582.07	\$ 882.07	\$ 894.96	\$ 861.66	\$ 163.23	\$ 2117.74	\$ 548.89	\$ 458.19	\$ 4,608.81
2006 Molding direct cost	\$ 766,785.00	\$ 732,483.13	\$ 937,136.61	\$ 884,708.04	\$ 877,066.88	\$ 891,614.64	\$ 816,954.38	\$ 881,169.02	\$ 926,735.09	\$ 776,251.96	\$ 881,543.48	\$ 923,328.75	\$ 10,075,756.96
2006 weeks of month	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	52
2006 hours per day	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
2006 Total Changeover	275	275	275	275	275	360	256	272	335	272	264	340	3,474
2006 Avg changeover time	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
2006 Changeover objective	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
2006 \$ lost by changeovers	\$ 33,437.35	\$ 31,942.38	\$ 32,683.58	\$ 37,708.49	\$ 38,247.43	\$ 40,719.89	\$ 33,164.59	\$ 38,007.13	\$ 39,384.68	\$ 33,481.78	\$ 28,532.14	\$ 39,825.59	\$ 427,145.03
Total	\$ 33,437.35	\$ 31,942.38	\$ 32,683.58	\$ 37,717.49	\$ 38,809.50	\$ 41,611.96	\$ 34,069.55	\$ 38,668.78	\$ 39,547.91	\$ 33,699.52	\$ 29,081.04	\$ 40,284.77	\$ 431,735.83

	2007												Total
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	
2006 StartUp Scrap Cost	\$ 422.00	\$ 437.00	\$ 547.00	\$ 981.00	\$ 766.00	\$ 1,075.00	\$ 737.00	\$ 1,222.00					\$ 6,187.00
2006 Molding direct cost	\$ 545,278.88	\$ 540,631.82	\$ 585,290.54	\$ 567,111.73	\$ 571,203.49	\$ 582,729.49	\$ 584,867.51	\$ 492,378.52					\$ 4,479,491.99
2006 weeks of month	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	52
2006 hours per day	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
2006 Total Changeover	184	224	290	232	224	290	216	272	330				2,262
2006 Avg changeover time	350	350	350	350	350	350	350	350	350				350
2006 Changeover objective	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
2006 \$ lost by changeovers	\$ 5,960.91	\$ 7,074.21	\$ 8,067.62	\$ 7,685.73	\$ 7,474.24	\$ 7,897.39	\$ 7,379.72	\$ 7,823.42	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 59,263.23
Total	\$ 6,282.91	\$ 7,511.21	\$ 8,614.62	\$ 8,666.73	\$ 8,240.24	\$ 8,972.38	\$ 8,116.72	\$ 9,045.42	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 65,453.23

Savings Vs prior Year	\$27,154.44	\$24,431.17	\$24,078.96	\$29,050.76	\$30,589.26	\$32,639.57	\$25,942.83	\$29,823.37	\$38,547.91	\$33,699.52	\$29,081.04	\$40,284.77	\$366,303.60
OBJECTIVE										\$10,000.00	\$10,000.00	\$10,000.00	\$30,000.00
%										37%	29%	40%	122%

Fuente: Beachmold México, 2008b.

En esta etapa del proyecto se ha concluido con la primera etapa de la metodología DMAIC, la etapa de Definir. En la cual se ha definido cual va a ser el problema a mejorar.

2. Definir el estándar de desempeño

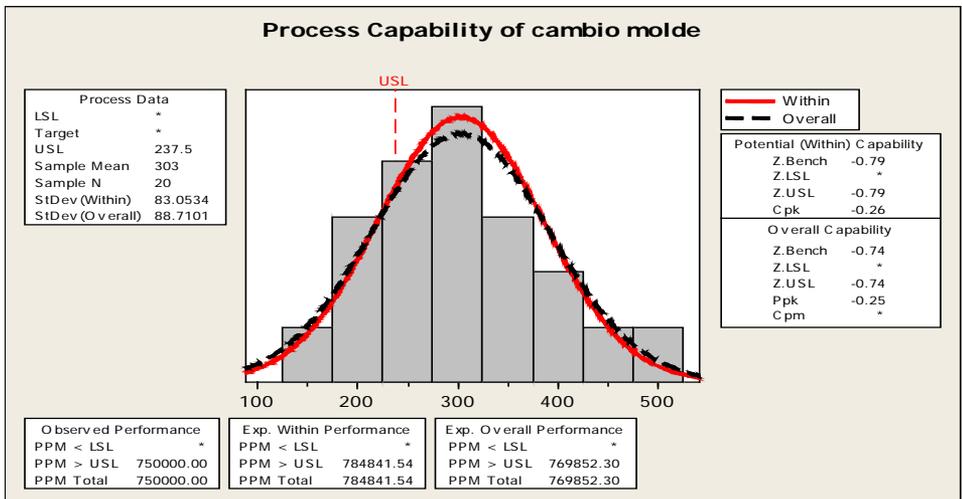
La forma en que se midió el problema fue en minutos (minutos de duración del cambio de molde); debido a que el tiempo que duraba el cambio no se media en la organización se implementó un formato el cual fue llenado por los montadores (personas que montan y bajan los moldes) y los procesadores (personas que realizan el ajuste fino y producen piezas buenas); donde citaron la hora de inicio y término de cada uno y las piezas de scrap. Este formato se implementó en piso y se utilizó para obtener la información necesaria para calcular el desempeño inicial del proceso. Se recolectaron 20 datos (se deben de obtener por lo menos 15 datos) y antes de hacer un estudio de capacidad se deben de verificar estas sencillas reglas (con la finalidad de que los datos utilizados en el estudio sean representativos de toda la población):

- Cantidad de datos (por lo menos 15 datos)
- Representativos de la situación actual
- No out-liers, si existen se identifican las causas y se eliminan y serán usados para calcular las ppm de causas especiales de variación.
- Buena resolución mediante un histograma
- Que los datos se ajusten a una distribución normal

El estudio de capacidad muestra los PPM potenciales del proceso así como el nivel de sigma inicial, pero para poder

obtener estos datos es necesario establecer cuales son los límites de especificación, o cual es el objetivo en tiempo de la duración de los cambios de moldes y cuál es el mayor tiempo permitido. Generalmente estos límites de especificación están definidos por el área de Ingeniería o de diseño, no obstante en algunas ocasiones no se cuenta con estos datos o simplemente ningún valor es aceptable (Ejemplo: accidentes en el trabajo), entonces se hace recomendable generar limites virtuales de especificación como referencia, estos límites virtuales son generados a partir de los cuartiles.

Gráfica 6. Beachmold México: Estudio de capacidad de variable tiempo de cambio de molde, 2007.



Fuente: Beachmold México, 2008b.

Debido a que la característica de la variable de estudio es “entre menor el tiempo, es mejor”, solo se utilizara el límite

superior de especificación (LSE, USL). La Gráfica 6 muestra el desempeño de la variable de estudio con *PPM potenciales de 769,852.30* y un nivel de *sigma inicial de 0.76 (Z -0.74)*.

3. Validar sistema de medición (Y)

Todo proceso tiene variabilidad y los de medición no son la excepción. Los valores observados son el resultado del comportamiento verdadero más el “ruido” de la medición, por lo que se hizo entonces necesario evaluar el sistema de medición de la variable de respuesta para determinar si esté es aceptable o no. Entre menor sea la variabilidad del proceso de medición, mayor margen de variabilidad tendrá el proceso en sí.

Para cumplir con el objetivo de este punto se utilizó la comparación de los tiempos registrados por los procesadores y montadores (tomados con sus relojes o los relojes distribuidos en la organización) y el tiempo registrado por un experto (con un cronómetro calibrado por el departamento de metrología). El resultado de este estudio de validación del sistema de medición deberá de cumplir con la siguiente regla:

- Menor al 10%, el sistema de medición es válido
- Mayor al 30%, el sistema de medición es inaceptable.
- Entre el 10% y 30%, el sistema de medición es aceptable pero condicionado, esto quiere decir que se debe de proponer una acción de mejora.

Debido a la forma en que los datos estaban presentados (pares, la medición de los procesadores y la medición del experto) este estudio de verificación se realizó mediante una prueba de hipótesis (Paired T) en donde se utilizó el valor de la probabilidad como el resultado para comparar contra esta regla (Figura 2).

Figura 2. Resultado de la prueba de hipótesis.

Paired T-Test and CI: medicion, medicion_1				
Paired T for medicion - medicion_1				
	N	Mean	StDev	SE Mean
medicion	13	122.0	38.6	10.7
medicion_1	13	119.9	40.3	11.2
Difference	13	2.12	6.20	1.72
95% CI for mean difference: (-1.63, 5.86)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.23 P-Value = 0.242				

Fuente: Beachmold México, 2008b.

El valor de **p** es de .242 o bien 24.2%, este valor es menor al 30%, el cual es el máximo permitido, para una prueba de validación de sistema de medición. Se toma la decisión de seguir adelante, el *sistema de medición es válido*, pero se deberá de mejorar en la etapa de mejora.

En esta etapa del proyecto se ha concluido con la segunda etapa de la metodología DMAIC, la etapa de Medir. En la

cual se ha definido en un lenguaje claro, el de los datos, cual es el problema a mejorar.

4. Establecer la capacidad del producto

Utilizando los mismos datos obtenidos para calcular el desempeño inicial de la variable, se calcularán los índices de capacidad y habilidad del proceso para definir qué tipo de problema estadístico se tiene y poder decidir qué tipo de herramientas (lean, calidad o estadísticas) serán de más utilidad para la solución del problema (Tabla 3).

Tabla 3. Beachmold México: Índices de capacidad y habilidad.

Capability indices :

Cpm = -0.227299668	Cp = No Aplica	Cpk = -0.227299668
Ppm = -0.220334444	Pp = No Aplica	Ppk = -0.220334444

Performance indices :

Zlt = -0.661	Zbench = -0.813	
Zst = -0.682	Design, Capability or Technology problem	
Zop'n = 0.131	Acceptable operation	
Zctr'l = 0.152	Zbias = 0.000	Zshift = 0.021
Good attention to process	Good adjustment of parameters	Good standardization

Fuente: Beachmold México, 2008b.

Se encontró que se tiene un *problema de Diseño, Capacidad o Tecnología* (Zst), y aunado a que la forma de medición es en unidades de tiempo (velocidad); se tomó la decisión de utilizar *herramientas de lean manufacturing* para encontrar la solución al problema práctico.

5. *Definir los objetivos de desempeño*

Una vez determinado el desempeño inicial de la variable de respuesta (y), se tiene determinado un valor objetivo a alcanzar mediante el proyecto en curso. Para definir este objetivo se recomienda utilizar cualquiera de estos métodos:

- Benchmarking.- a través de un proceso estructurado identificar el proceso mejor de la clase para fijar su desempeño como el objetivo del proyecto.
- Reglas empíricas.- si el desempeño inicial es menor a 3 sigmas el objetivo es una reducción del 70% de los PPM, si el desempeño inicial es mayor a 3 sigmas el objetivo deberá de ser el 90% de reducción en los PPM.
- Requerimientos del cliente.- los límites u objetivos definidos por el cliente.

El nuevo nivel de sigma y el valor de PPM (objetivo) deberán de estar validados, esta validación se realiza, de una forma muy simple: deberán de estar fuera de los límites de confianza de los valores actuales (desempeño inicial). Los valores objetivos para el proyecto fueron: *PPM 237,579.66* y *Sigma Objetivo.- 2.21* (Tabla 4).

Tabla 4. Beachmold México: Índices de capacidad y habilidad.

Performance Objective :

Benchmark	Requirements	Rule of Thumb
Obj.Mean =	% improvement	Initial Sigma = 0.69
Obj.Std.Dev. =	68.02897307	% Improvement = 70%

Select method to use to determin performance objectives = Rule of Thumb

Total PPM = 745694.9116	810809.301	< Total PPM without out-liers <	670364.7276
Valor Sigma = 0.84	1.06	< Sigma value without out-liers <	0.62
Objective PPM < 237579.6601	Outside of Confidence Interval	OK	
Objective Sigma value > 2.214109745			
% PPM Reduction = 70.0%			
Corrected PPM = 791932.2004	857046.5898	< Corrected Total PPM <	716602.0164
Corrected Sigma = 0.69	0.93	< Corrected Sigma value <	0.43

Fuente: Beachmold México, 2008b.

6. Identificar las fuentes de variación

Ahora que se conoce con exactitud el problema que se tiene, como se va a medir y en qué momento se podrá decir que el proyecto ha sido concluido; se debe determinar cuáles son las variables (**X's**) que afectan el resultado (y), se tienen que identificar las fuentes de variación.

En muchos casos, se conocen estas variables pero cuando no se cuenta con datos históricos se puede utilizar la técnica de grupo nominal (TGN) para determinar los factores altamente probables, esta técnica está basada en dos sencillos pasos: 1) realizar una tormenta de ideas (Brainstorm) y 2) catalogar los factores que se obtuvieron en la tormenta de ideas en factores controlables (C), de ruido (N), procedimiento estándar (S) o constantes (K). La técnica de grupo nominal incluye una

votación de los expertos para excluir los factores poco probables.

Estos factores o **X's** serán los factores a los cuales se les tendrá que encontrar un nivel óptimo de operación, esto generalmente se hace mediante un diseño de experimentos (DOE). Debido a que el problema descrito en el paso 4 es de Capacidad, Diseño o Tecnología; las variables que en este paso se encuentren deberán de ser de gran utilidad al momento de elegir la correcta herramienta de lean manufacturing a utilizar.

La Tabla 5 muestra las causas, por las cuales los expertos del proceso comentaron que el tiempo de cambio de molde es afectado. Estos factores probables fueron catalogados en tres grandes familias: Procedimientos estándar (los cuales tendrán que ser documentados), Recursos humanos (Programa de entrenamiento de los procedimientos estándar) y las variables que deberán de ser integradas en la herramienta de lean seleccionada. La herramienta para abordar el problema de forma adecuada fue el **SMED**, el cual es un proceso dirigido paso a paso para mejorar la eficiencia y exactitud del trabajo durante los cambios de molde, además de que incluye procedimientos técnicos bien documentados, los cuales serán utilizados para el entrenamiento de los operadores que participan en el cambio de molde. El propósito que busca esta herramienta es muy simple: Incrementar flexibilidad y

estar disponible para reaccionar rápidamente a las necesidades de los clientes y reducir los inventarios.

Tabla 5. Beachmold México: Factores altamente probables.

Potential Cause	C, S, N	OBSERVATION
Mold not ready	C	SMED X VALIDATED AT MOLDSHOP
Tools not ready	C	SMED X VALIDATED WITH Bernardo
Improper tool	C	SMED X TO BE VALIDATED
Qty. of mold setters (1-2)	C	SMED CO NEED 2 MOLD SETTERS
Improper trained	C	HR PROCESSOR TRAINING PROGRAM
Setup sheet un-ready	S	SMED MODIFICATION OF THE ACTUAL AND STD WITH RYN & NA
Connection hose method	S	SOP CHECK THE ACTUAL PROCEDURE (CREATE)
Hydraulics-neumatic connections (in/out) not marked	C	SMED X TO BE VALIDATED
In-out mold standard process	S	SMED X TO BE VALIDATED AND CHANGE THE CURRENT ONE
Waiting for the heats to go up	C	SMED X TO BE VALIDATED
Time of processor to get to the machine	C	SMED X TO BE VALIDATED
Waiting for barrel to heat up	C	SMED X TO BE VALIDATED
Improper purge machine	C	SMED X TO BE VALIDATED
Improper training	C	HR PROCESSOR TRAINING PROGRAM
Material ins not ready or not at the machine	C	SMED X TO BE VALIDATED
Setup sheet not available	S	SOP CO CAR HAS A BOARD FOR THE FORMS
Robot Adjustment	S	SOP PROCESSOR TRAINING PROGRAM
Robot fixture unready	C	SMED X TO BE VALIDATED
Problems with nozzle tip	C	SMED X TO BE VALIDATED
No operator	N	
No packaging materials	C	SMED X TO BE VALIDATED
Surprises (fallures maintenance)	N	
processor un familiar with material	C	HR PROCESSOR TRAINING PROGRAM
programming not ready	C	SMED X TO BE VALIDATED
gas assisted machine	S	SOP VALIDATION OF CURRENT PROCEDURE OR CREATE NEW
machine manifold (with / without)	C	SMED X TO BE VALIDATED

Fuente: Beachmold México, 2008b.

Se integró un equipo interdisciplinario, en el cual participaron todos los departamentos relacionados con el cambio de molde (Programación, Montaje, Ingeniería de proceso, Producción, Calidad, Materiales, Mantenimiento y Taller de moldes), desde servicio al cliente (personal que recibe el requerimiento del cliente) hasta calidad (personal que libera el producto después de completado el cambio).

El primer paso de la herramienta de SMED es establecer el tiempo actual del cambio, el cual fue tomado durante dos cambios de molde (uno con 1 solo montador y otro con dos montadores, variable incluida en la Tabla 5). Estos tiempos fueron tomados con un sencillo formato de tiempos y movimientos, información que será utilizada en los siguientes pasos para plantear la mejor forma para realizar los cambios de molde.

El equipo interdisciplinario se dividió en dos pequeños equipos donde cada uno dio seguimiento al cambio completo de molde, que según lo visto en el capítulo anterior es: El tiempo desde la última parte buena de la primera orden hasta la primera parte buena de la nueva orden. Para ser más específicos será desde que sale la última pieza del producto actual, y hasta que la pieza del producto nuevo sea liberada por el área de calidad.

Cada uno de los equipos dividió en tres etapas el cambio:

- Desmontaje y montaje del molde; realizada por los montadores
- Ajuste del proceso de inyección con el nuevo molde; realizada por el procesador.
- Liberación de calidad; realizada por el auditor de calidad.

Al inicio del proceso SMED, el cual se impartió en la organización como un taller práctico, se definieron tres objetivos específicos, los cuales deberían de cumplirse durante el taller práctico:

- Reducir en 30% el tiempo de cambio de molde
- Reducir en 30% las distancias recorridas por los operadores durante el cambio de molde.
- Reducir en 25% las actividades que no agregan valor (MUDA)

Tabla 6. Beachmold México: Tiempos totales por etapa durante el cambio de molde.

CAMBIO CON 1 MONTADOR		CAMBIO CON 2 MONTADORES	
	Actual Interno		Actual Interno
Montador	8,471	Montador 1	7,037
		Montador 2	7,380
Procesador	6,352	Procesador	12,033
Calidad	911	Calidad	911
Tiempo de Cambio (Mins)	262.23	Tiempo de Cambio (Mins)	339

Fuente: Beachmold México, 2008b

En la Tabla 6 se reportan los tiempos totales de cada uno de los dos cambios de molde, el cambio con un montador dura 8471 segundos y el cambio con dos montadores en su tiempo más alto dura 7380 segundos, esto es una diferencia de cerca de 17 minutos, los cuales no afectan considerablemente la duración del cambio (es menor a la desviación estándar del

proceso y a la del sistema de medición, por lo tanto no es significativa).

También se midió la cantidad de metros caminados por cada uno de las personas que participan en el cambio (Tabla 7), esto con la finalidad de reducir el desperdicio de movimiento.

Tabla 7. Beachmold México: Cantidad de pasos y metros recorridos.

CAMBIO CON 1 MONTADOR			CAMBIO CON 2 MONTADORES		
	Actual Interno	Actual Metros		Actual Pasos	Actual Metros
Montador	1,582	1,266	Montador 1	2,820	2,256
			Montador 2	2,152	1,722
Procesador	1,053	842	Procesador	2,558	2,046
Calidad	287	230	Calidad	287	230
Totales	2,922	2,338	Totales	7,817	6,254

Fuente: Beachmold México, 2008b.

Para realizar este cálculo se utilizó la herramienta de diagrama de spaghetti, la cual nos ayuda a ver gráficamente la cantidad total de movimientos que realiza el operador durante una operación. Además se contaron todos los pasos que se realizaron y se multiplicaron por un factor de .80 MT por cada paso caminado. En total, en los dos cambios se caminaron cerca de 9 kilómetros, esta distancia recorrida afecta notablemente e rendimiento del personal que realiza el cambio de molde.

Una vez establecidos los valores iniciales sobre los cuales se plantearon los objetivos, se identificaron todas las actividades

que se llevaron a cabo durante el cambio de molde por todas las personas involucradas. Todos estos datos fueron tomados utilizando un formato simple de tiempos y movimientos y, se especificó que se tomarían al detalle, esto con la finalidad de poder realizar un análisis completo de todas y cada una de las actividades que se realizaron, además se video grabo a las personas que participaron en el cambio. Este video se utilizó para verificar que las actividades descritas en el formato de tiempos y movimientos estuvieran en orden y poder aclarar cualquier duda que surgiera durante el análisis.

En esta etapa del proyecto se ha concluido con la tercera etapa de la metodología DMAIC, la etapa de Analizar; en la cual se han definido las variables clave de entrada que afectan a las variables de respuesta del proceso.

7. Tamizar las causas potenciales

Al conocer con exactitud qué actividades se llevan a cabo durante cada etapa del cambio de molde, se comenzaron a plantear las mejoras necesarias para lograr los objetivos específicos del SMED. En esta etapa, el principal objetivo es eliminar las actividades innecesarias realizadas durante el cambio, las cuales se pueden clasificar en tres categorías: Movimientos, Esperas y Transportación. Estas tres categorías son los principales desperdicios (MUDAS), los cuales al ser analizados y reducirlos ayudaran a lograr el objetivo de reducción en un 25% de las actividades que no agregan valor.

Pero no todas las actividades son innecesarias, también se deberá identificar cuáles son las actividades que se deben de realizar (trabajo necesario), es decir las actividades de control (ejemplo.- llenar un registro de calidad) o los misceláneos que no entren en ninguna de las categorías aquí descritas; lo anterior se hizo a través de formato de tiempos y movimientos por categoría.

8. *Encontrar relación entre las variables*

Una vez completado el paso anterior, fue de mayor facilidad verificar cuales actividades que se realizaron como internas (Durante el cambio con máquina parada) pueden ser realizadas como actividades externas (Antes o después del cambio, con la máquina funcionando). Para completar este paso se usó la herramienta del análisis ECRS (Eliminar, Combinar, Reducir o Simplificar). Este análisis consiste en preguntarse si las actividades descritas pueden hacerse de alguna otra forma, si se puede reducir el tiempo mediante la implementación de alguna herramienta o dispositivo o mejorar el método, o bien si se puede eliminar.

Una vez completados los análisis ECRS de todos los operadores que participaron en el cambio de molde, se volvió a calcular el tiempo en el cual el equipo estaba proponiendo que se podía realizar el cambio de molde. La propuesta planteó un mejoramiento en el tiempo de cambio de 60% con dos montadores y de 65% con un montador (ver Tabla 8),

esto significó de lograr lo planteado se alcanzaría el objetivo de 30% en la reducción del tiempo de cambio.

Tabla 8. Beachmold México: Tiempos de cambio propuestos.

2 Montadores						
	Actual	Propuesta			Eliminar	Interno a Externo
	Interno	Interno	Dif	%		
Montador 1	7,037	4374	2663	38%	1,781	882
Montador 2	7,380	1633	5747	78%	2,476	3271
Procesador	12,033	2753	9280	77%	5,384	3896
Calidad	911	911	0	0%	-	0
Tiempo de Cambio (Mins)	339	134	204.8	60%		

1 Montador						
	Actual	Propuesta			Eliminar	Interno a Externo
	Interno	Interno	Dif	%		
Montador	8,471	3188	5283	62%	5,131	152
Procesador	6,352	1397	4955	78%	4,955	0
Calidad	911	911	0	0%	-	0
Tiempo de Cambio (Mins)	262.23	91.60	170.6	65%		

Fuente: Beachmold México, 2008b.

Basado en esta propuesta se planteó un nuevo diagrama de espagueti, así como una nueva propuesta en la cantidad de pasos que deberán de caminar los operadores que participan en el cambio (Tabla 9).

Con este paso, el proyecto ha concluido con la Cuarta etapa de la metodología DMAIC, Mejorar. En la cual se ha planteado una propuesta de mejora la cual deberá de implementarse y controlarse en las siguientes etapas de la metodología.

Tabla 9. Beachmold México: Pasos caminados propuestos.

2 MONTADORES

	Actual Internos	Actual Metros	Propuesta Internos	Propuesta Metros	Reducción %
Montador 1	2,820	2,256	263	210	91%
Montador 2	2,152	1,722	235	188	89%
Procesador	2,558	2,046	189	151	93%
Calidad	287	230	276	221	4%
	7,817	6,254	963	770	88%

1 MONTADOR

	Actual Internos	Actual Metros	Propuesta Internos	Propuesta Metros	Reducción %
Montador	1,582	1,266	330	264	79%
Procesador	1,053	842	8	6	99%
Calidad	287	230	287	230	0%
	2,922	2,338	625	500	79%

Fuente: Beachmold México, 2008b.

9. Establecer tolerancias de operación

En este paso se puso en práctica la mejora propuesta por el equipo y se analizaron las posibles mejoras para las actividades externas e internas, cabe mencionar que durante la ejecución de esta validación no se realizó inversión alguna, ya que la mejora consistió en realizar las operaciones y actividades en un mejor orden durante el cambio y la correcta preparación de las actividades externas antes y después del mismo. Esta verificación únicamente se realizó en un cambio de molde, en el cual participaron dos montadores, esto debido a que:

- La plantilla está diseñada para que los cambios de moldes se hagan por parejas y

- El equipo se dividió en dos, un equipo ejecutor y uno revisor, el equipo ejecutor serán las personas que realicen el cambio, esto con el objetivo de demostrar que la propuesta planteada se puede lograr (y quien mejor que los que diseñaron la propuesta) y el equipo revisor verificara que las actividades propuestas se realicen en el orden y en el tiempo descrito.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Reducción de un 85% en las caminatas realizadas por los operadores de 6254 metros a 909 metros (Tabla 10).
- Eliminación de un 25% de las actividades que no agregan valor eliminando actividades de transporte, espera y movimiento (Tabla 11).
- Reducción de 59% en la duración del cambio de molde de 339 minutos a 138 minutos (Gráfica 7).

Tabla 10. Beachmold México: Reducción en caminatas recorridas.

	Actual Internos	Actual Metros	Segundo Cambio	Segundo Cambio	Reducción %
Montador 1	2,820	2,256	276	221	90%
Montador 2	2,152	1,722	393	314	82%
Procesador	2,558	2,046	46	37	98%
Calidad	287	230	421	337	-47%
	7,817	6,254	1,136	909	85%

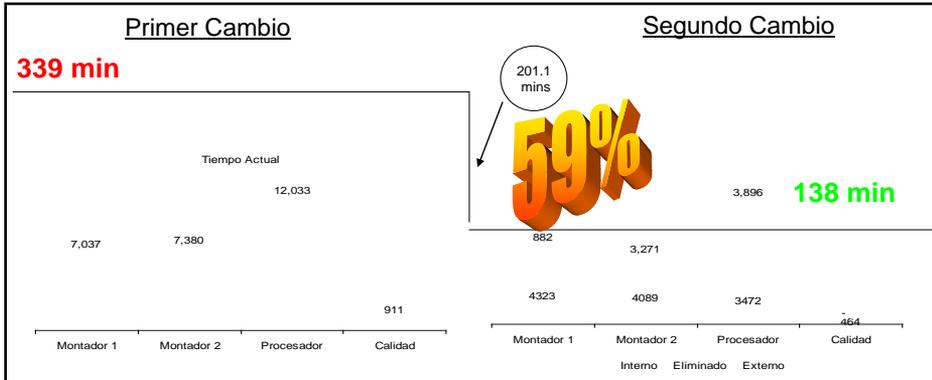
Fuente: Beachmold México, 2008b.

Tabla 11. Reducción en tiempo de cambio de molde.

	Actual	Propuesta		2do Cambio vs anterior			Eliminar	Interno a Externo
	Interno	Interno	Dif	Interno	Dif	%		
Montador 1	7,037	4,374	1%	4323	2714	39%	1,832	882
Montador 2	7,380	1,633	-150%	4089	3291	45%	20	3271
Procesador	12,033	2,753	-26%	3472	8561	71%	4,665	3896
Calidad	911	911	49%	464	447	49%	447	0
Tiempo de Cambio (Mins)	339	134	0.01	138	201.1	59%		

Fuente: Beachmold México, 2008b.

Gráfica 7. Beachmold México: Comparativa por operador.



Fuente: Beachmold México, 2008b.

10. Validar sistema de medición

En este paso se resolvieron los conflictos que se observaron durante la implementación de la propuesta, estos principalmente se generaron porque no existía un método documentado en el cual se plasmara cuando es que cada persona involucrada durante el cambio de molde, debería de realizar sus actividades. Durante la propuesta se puso a

prueba la hipótesis, de que en este caso el éxito se debió a que los involucrados estaban atentos al cambio, pero en el día a día, ellos están ocupados haciendo otras actividades y no prestan la atención debida al cambio.

Se implemento el formato “lista de verificación de cambio de molde” el cual es una hoja viajera, la cual pasa por todos los involucrados en el cambio de molde y en la cual deberán de registrar la hora a la cual iniciaron su actividad y la hora en que la terminaron así como cualquier observación donde puedan explicar cualquier causa que les haya generado un atraso. El formato fue dado de alta en el sistema de calidad de la organización, con el cual se asegura su permanencia en el tiempo y el proceso de auditoría; el cual permitirá hacer evidente cualquier incumplimiento al mismo. Cabe resaltar que a partir del día de su implementación fue el control establecido para obtener el dato de la duración del cambio de molde.

También se estableció una hoja de operación estándar (HOE) la cual deberá de ser utilizada como hoja de verificación durante los cambios de molde, en esta HOE se incluyen todas las actividades de las personas que participan en el cambio de molde así como también los tiempos máximos permitidos por actividad. También se detallan las actividades que deberán de hacerse antes y después de cada cambio de molde, esto con la

finalidad de asegurar que todo lo necesario en la etapa de preparación y al término del cambio de molde se realicen por el responsable de cada actividad.

Esta HOE fue difundida con todos los operadores involucrados en el cambio en los tres turnos, con el objetivo específico de asegurar el correcto cumplimiento a cada uno de los puntos incluidos en el formato.

11. Determinar la capacidad del proceso

Durante este paso se realizó un plan de acción en el cual se incluyeron todas las acciones sugeridas por los participantes en el taller, actividades que ayudarían a simplificar o combinar las actividades internas o externas que resultaron del análisis previo. Este plan de acción se realizó durante tres meses, en donde cada miembro del equipo SMED, participó, logrando el cumplimiento de las acciones en el plazo requerido. En esta etapa se realizó una pequeña inversión para cumplir con las siguientes acciones:

- Comprar herramienta necesaria para habilitar dos carros móviles para los montadores
- Comprar carros de herramienta y herramienta para cada uno de los procesadores.
- Compra de multímetros para el área de taller de moldes y asegurar pleno funcionamiento de las resistencias de los moldes.

- Compra de tornillos hexagonales para mejor agarre durante el montaje y desmontaje de los moldes.
- Comprar juego de desarmadores para realizar pruebas funcionales de los productos.
- Compra de escalera para alcanzar conexiones superiores de los moldes.
- Compra de pistolas neumáticas para rápido montaje y desmontaje de candados de moldes.

Dentro de este plan SMED se incluyó también el entrenamiento práctico a los montadores y procesadores, utilizando la herramienta de trabajo estandarizado de lean manufacturing se desarrollo un programa OJT (on the job training) mediante el “método de las tres enseñanzas” el cual se completo con la plantilla actual de los montadores y procesadores en el periodo de los tres meses, y para los nuevos ingresos se estableció en el programa de certificación de procesadores y montadores.

12. Implementar los controles de proceso

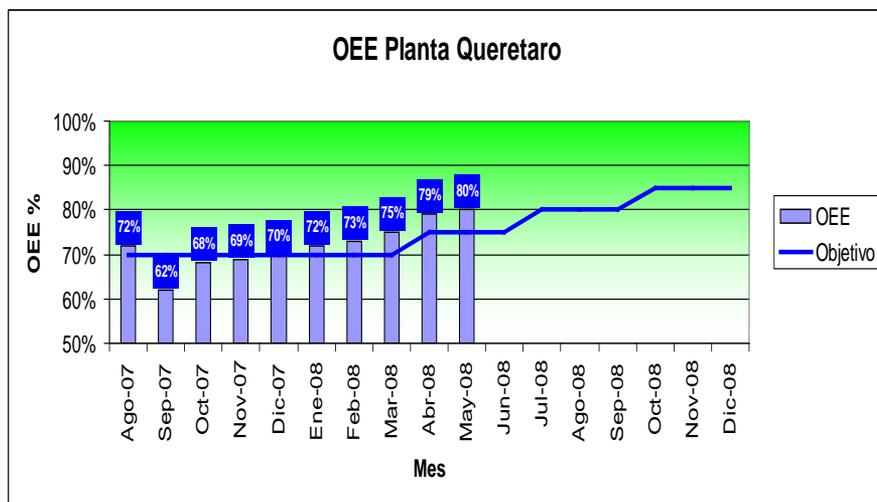
Para lograr sostenimiento de la mejora se documentaron en el sistema de calidad de la organización lo siguiente:

- Lista de verificación de cambio de molde
- Instrucción estándar de cambio de molde
- Reporte de producción
- Boleta de scrap de procesadores

Para asegurar la correcta recepción de los moldes a montar, se elaboró el formato de entrega y recepción de moldes, el cual es llenado en el área de taller de moldes; personal que tiene la responsabilidad de habilitar correctamente los moldes previniendo de esta forma que los moldes fallen durante el montaje y arranque. Esta entrega – recepción de los moldes se hace al momento de solicitar el molde al taller (este molde ha sido previamente programado para su habilitación por el departamento de planeación) y se llena en conjunto con el personal que realiza el montaje, firmando el formato de conformidad y así prevenir futuras confusiones. Si el molde se recibe de forma inapropiada y por requerimiento del departamento de planeación se tiene que realizar el montaje, la única persona autorizada para firmar el formato es el gerente de producción (este formato también fue dado de alta en el sistema de calidad).

Las mejoras en el tiempo de cambio de molde han permitido a la organización la incorporación al programa de producción de mas números de parte de los clientes actuales o bien de nuevos clientes, debido a que ahora se pueden realizar más cambios de molde, logrando con esto mejorar los niveles de eficiencia de la organización, los cuales se ven reflejados en el OEE (Overall Equipment Effectiveness, Eficiencia Total del Equipo) (Gráfica 8).

Gráfica 8. OEE mensual planta Querétaro.



Fuente: Beachmold México, 2008b.

Conclusiones

Con las herramientas SMED se logró:

- Una reducción en el tiempo de cambio en 59%, este resultado único ayudó a los operadores que realizaron el cambio de molde a romper sus propios paradigmas, lo cual permitió que al momento de realizar el entrenamiento la acción de convencer a la gente, de que el objetivo esperado era alcanzable fue más fácil.
- Se logró una reducción de 85% de los metros recorridos por los operadores durante el cambio, esto se logró gracias a una correcta preparación del cambio, ya que la mayoría de los movimientos eran con la finalidad de buscar materiales, herramientas y

formatos, los cuales se incluyeron en el formato checklist “instrucción estándar de cambio de molde” asegurando con esto el tener todo listo antes del inicio del cambio (paro de máquina).

- Una reducción de 25% de las actividades que no agregan valor, logrando con esto establecer las bases para lograr una manufactura esbelta en los procesos críticos de la organización.

Las mejoras implementadas permitieron lograr una reducción en el tiempo promedio mensual de cambio de molde de más de 70%, esto debido a que muchas herramientas que se pensaban se tenían listas, o bien no estaban siendo utilizadas correctamente o no se contaba con ellas.

Los resultados obtenidos cumplen con el objetivo planteado (reducción del tiempo de cambio de molde), el cuál en términos prácticos se determinó mediante reglas empíricas, requiriendo de al menos un 70% en la reducción de PPM, los cuales eran de 769,852.30 y al término del proyecto fueron de **188,094.53** logrando una reducción real de 75%.

Los ahorros son calculados mensualmente y presentados a la alta dirección de la Organización, tan solo en el mes de Mayo de 2008, estos fueron de **\$7,500.00 USD**, por el simple hecho de reducir el tiempo improductivo de la máquina durante los cambios de molde, estos ahorros pueden ser más grandes si

se calcula el efecto que ha tenido la reducción del tiempo de cambio de molde sobre la incorporación de nuevos productos, nuevos clientes o bien la reducción de los inventarios que se debían de tener para cumplir los requerimientos del cliente.

Literatura citada

Beachmold México. 2008a. Información General de la compañía. Recuperada de internet (enero 2008)
<http://www.beachmold.com/Aboutus.htm>

Beachmold México. 2008b. Sistema JDE (JDEdwards) interno.

Breakthrough Strategy ®

Breyfogle, Forrest W. (2003) Implementing Six Sigma, Second Edition: Smarter Solutions Using Statistical Methods