

## Implementación de la metodología lean-sigma para la reducción de tiempos de preparación de maquinaria

Alejandra Marin Sifuentes<sup>1</sup>, Francisco Javier Estrada Orantes<sup>1</sup>, Noé Alba Baena<sup>1</sup>,  
María Guadalupe Valdivia Urdiales<sup>1</sup>, Héctor Alejandro Trejo Mandujano<sup>1</sup>, Martha Haifa Tamer Salcido<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

### Resumen

En el presente proyecto se realiza una implementación de la metodología Lean Sigma debido a la eficiencia y rapidez de la implementación. Con este proyecto se busca la reducción de tiempos destinados para cambio de modelo en las líneas de producción de una empresa de la localidad dedicada a la fabricación de filtros de aire. El propósito de la reducción de estos tiempos es debido a la generación de tiempos muertos que se producen al realizar la preparación de la maquinaria, lo cual influye negativamente en la salida de productos terminados. Para la obtención de este objetivo se desarrolló una solución basada en los 5 pasos básicos de Lean-sigma, iniciando con un análisis inicial el cual tenía como objetivo conocer el panorama de la situación actual del problema, posteriormente se realizó una priorización de las actividades, para realizar mejoras, en primer lugar, a las operaciones internas y posteriormente las operaciones externas. Finalmente se realizaron corridas de prueba con el que se realizó un estudio de tiempos. Para la comprobación de los objetivos se realizó una validación mediante el análisis estadístico t de 2 muestras.

**Palabras clave:** Lean Sigma, SMED, t de 2 muestras.

### Introducción

Los constantes cambios a los que se encuentran expuestas las empresas hoy en día provocan el desarrollo e implementación de estrategias con el objetivo de lograr una mayor agilidad y con ello poder adaptarse rápidamente a estos cambios, logrando un alto nivel de productividad. La implementación de dichas estrategias permiten a las empresas tener un flujo eficiente logrando así una ventaja competitiva en el sector en el que se desenvuelve.

Los procesos pueden robustecerse haciendo uso de herramientas desarrolladas para tal propósito, tal es el caso de la metodología

Lean-Sigma, en la cual el objetivo es el desarrollo de una estrategia o solución al problema, aprovechando la rapidez de Lean y haciendo uso de los análisis estadísticos de Seis Sigma, con la variante del tiempo, los desarrollos basados en Lean-Sigma debe ser en el menor tiempo posible (Estrada & Alba-Baena, 2014). En la literatura se encuentra una amplia variedad de aplicaciones de six sigma (Mason et al.2015; Filardi et al. 2015; Youssouf et al. 2014). Por lo tanto, debido a este enfoque se decide utilizar Lean-Sigma como metodología de uso, para desarrollo del caso de estudio.

## Caso de estudio

La empresa que se utiliza para el desarrollo de este proyecto se dedica a la producción de filtros de aire, los filtros son fabricados en diferentes presentaciones, variando con ello el material y medida del filtro dependiendo la necesidad del cliente.

La manufactura de los filtros cuenta con varios procesos mostrados en el diagrama de la figura 1.2, sin embargo, el proceso que marca la pauta al flujo de producción, es el prensado de filtros, donde las mejoras deben enfocarse, ya sea respecto a maquinaria, flujos o la eliminación/reducción de fallas o problemas que afectan la productividad del proceso.

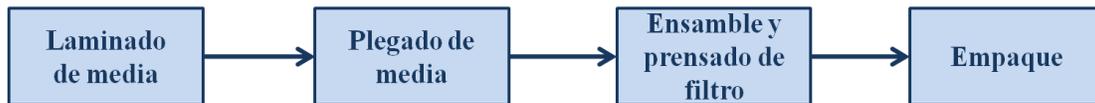


Figura ¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.. Proceso de manufactura para la fabricación de filtros

## Planteamiento del problema

La empresa dedicada a la fabricación de filtros de aire cuenta con una variada demanda de producción en cuanto a los modelos a correr y al tamaño de lotes se refiere, generando tiempos muertos por la preparación de la maquinaria de prensas, las cuales son máquinas críticas en el flujo del proceso, reduciendo así el número de piezas producidas y por consecuencia la productividad. Es importante y necesaria la implementación de un sistema de cambios rápidos para mejorar la productividad.

## Objetivos

### Objetivo general

Diseñar un plan de mejora para la maximización del proceso productivo reduciendo en un 30% los tiempos muertos generados por tiempos de preparación de maquinaria en un proceso productivo, implementando la metodología Lean Sigma.

### Objetivos específicos

- Reducir los tiempos de actividades internas en la preparación de una máquina en un 15%.
- Reducir los tiempos de actividades externas en la preparación de una máquina en un 25%.
- Aumentar las unidades de piezas producidas en un 6%.

## Hipótesis

### Hipótesis General

El tiempo de preparación destinado a los cambios de modelo se reducirá de 12 a 8 minutos en una máquina de prensado dentro del proceso de fabricación de filtros, logrando con esto una reducción de 30% en los tiempos muertos.

$$H_0: 12 \text{ min} \leq \bar{X}_2$$

$$H_1: 12 \text{ min} > \bar{X}_2$$

*Hipótesis Específicas*

Los tiempos destinados a las actividades internas serán reducidas de 3.7 a 3 minutos, obteniendo una reducción del 20%

$$H_0: 3.7 \text{ min} \leq \bar{X}_2$$

$$H_1: 3.7 \text{ min} > \bar{X}_2$$

Los tiempos destinados a las actividades externas serán reducidas de 10.6 a 7.5 minutos, obteniendo una reducción del 30%

$$H_0: 10.6 \leq \bar{X}_2$$

$$H_1: 10.6 > \bar{X}_2$$

Reduciendo los tiempos, la salida diaria de piezas aumentara de 7846 piezas a 8316 piezas.

$$H_0: 7846 \text{ pzas} \geq \bar{X}_2$$

$$H_1: 7846 \text{ pzas} < \bar{X}_2$$

1.

### Metodología

Paso	Actividades	Mediciones, Algoritmos y Métodos	Herramientas
1. Análisis Inicial	1.1. Recolección de datos	Enlistar actividades realizadas un cambio de modelo	Observación
		Obtención de datos iniciales de tiempos utilizados en cada una de las actividades enlistadas	Estudio de tiempos
	1.2 Causa-Raíz	Comprobar que la muestra tomada es representativa de la población	Estimación del tamaño de muestra
		Determinar la o las actividades que consumen mayor tiempo en cada cambio de modelo	Diagrama de Pareto
		Las actividades que mayor tiempo consumen se analizan para determinar su causa	Lluvia de ideas

Paso	Actividades	Mediciones, Algoritmos y Métodos	Herramientas
2. Solución Propuesta	2.1 Reducción de tiempos para un cambio de modelo	Utilizar una metodología lean para la reducción de tiempos	SMED
	2.2 Clasificación de actividades	Identificar actividades internas y externas	SMED
	2.3 Mejora de actividades	Convertir actividades internas en externas	Poka-Yoke
	2.4 Mejora en actividades resultantes	Reducir tiempos tanto en las actividades internas y externas	Poka-Yoke
3. Aplicación de la solución	Realizar corridas de prueba con las mejoras aplicadas	Cronometrar tiempos destinados para el cambio de modelo.	Estudio de tiempos
4. Verificación de la solución	Comparar resultados	Comparación estadística de los datos anteriores y posteriores	Prueba de hipótesis
5. Plan de control	Diseñar un plan de control	Utilizar una metodología de mejora continua	Monitoreo Auditorias

## Resultados

### Análisis Inicial

Se evalúan los primeros 20 datos recolectados bajo un análisis de estadística descriptiva, mediante una prueba de normalidad arrojando la media de los datos, así como la desviación estándar en este caso de 149.9, así mismo se puede afirmar que la distribución que representa el comportamiento de los datos es normal, debido a que el valor de probabilidad es mayor que 0.05. Conocida la desviación estándar se realizó el cálculo para determinar el tamaño de la muestra que representa estadísticamente la población. Para ello se utilizó la siguiente fórmula

$$n = \left[ \frac{\sigma(Z_1 - \frac{\alpha}{2})}{e} \right]^2 = \left[ \frac{149.9 - (1.96 - \frac{0.05}{2})}{40.47} \right]^2$$

El valor de datos que representan estadísticamente la población es de 44 con un nivel de confianza del 95%.

### Mejoras Realizadas

Con las mejoras implementadas se obtiene como resultado, la reducción de tiempo y eliminación de algunas de las actividades, en la tabla 1 se puede observar como quedaron las actividades después de las mejoras.

Tabla 1. Operaciones resultantes después de aplicar la solución

Actividades realizadas para un cambio de modelo		Antes	Después
1	Buscar placas disponibles	X	-
2	Limpiar mesa de trabajo	X	X
3	Colocar placa en la mesa	X	X
4	Desmontar tornillos de ángulos anteriores	X	X
5	Montar tornillos de ángulos nuevos	X	X
6	Colocar placa en carrito para ser transportada	X	X
7	Transportar placa a modulo	X	X
8	Ya en la prensa, desmontar tornillos de mariposa	X	Reemplazo
9	Sacar placa anterior	X	X
10	Ensamblar placa nueva	X	X
11	Montar 4 tornillos de mariposa	X	Reemplazo
12	Llevar barras de nuevo modelo a estación de trabajo	X	-
13	Desmontar tornillos de las 4 barras del modelo anterior	X	X
14	Colocar barras de modelo anterior en lugar asignado	X	-
15	Tomar barras de nuevo modelo y alinear en la placa	X	-
16	Montar tornillos de las barras alineadas	X	X

### Verificación de la solución

Una vez implementadas las mejoras y aplicando unas corridas de prueba se

recolectaron datos posteriores. Los tiempos obtenidos se agruparon en tiempos para operaciones internas (tabla 2) y tiempos para operaciones externas (tabla 3)

Tabla 2. Comparación de tiempos para operaciones internas

<b>Operaciones Internas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Posterior</b>
Desmontar tornillos de mariposa	23.6	3.7
Sacar placa anterior	5.9	5.4
Ensamblar placa nueva	5.7	5.7
Montar tornillos de mariposa	20.3	12.4
Desmontar tornillos de las 4 barras del modelo anterior	49.8	49.9
Colocar barras de modelo anterior en lugar asignado	11.8	0.0
Tomar barras de nuevo modelo y alinear en la placa	11.4	14.9
Montar tornillos de las barras alineadas	93.7	73.3
Tiempo total (Seg)	222.3	165.4

Al realizar un análisis t de 2 muestras se obtuvo el grafico de la figura 2 donde se puede apreciar la diferencia que existe en las medias, además en el siguiente

cuadro se puede observar el valor de probabilidad menor a 0.05, comprobando de esta manera la diferencias entre las medias.

**Prueba T e IC de dos muestras: Op. Internas Iniciales, Op. Internas Posteriores**

	N	Media	Desv. Est	Error estándar de la media
Op. Internas Iniciales	45	222.3	24.3	3.6
Op. Internas Posteriores	45	165.0	22.2	3.3

Diferencia =  $\mu$  (Op. Internas Iniciales) -  $\mu$  (Op. Internas Posteriores)

Estimado de la diferencia: 57.26

Límite inferior 95% de la diferencia: 49.09

Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = 11.66 Valor P = 0.000 GL = 87

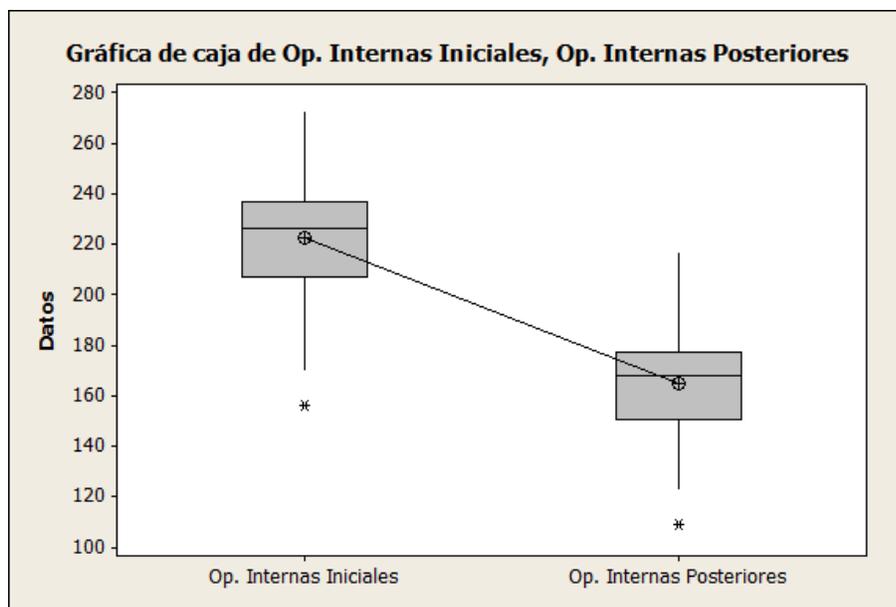


Figura 2. Comparación de las medias de ambos conjuntos de muestras

De igual manera se realizó un análisis para los tiempos de las operaciones externas mostradas en la tabla 3. El análisis arrojó la figura 3 en la cual se puede observar que la media de los datos está muy

por debajo del valor objetivo, con un valor de probabilidad de  $p=0.000$ , habiendo evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Tabla 3. Comparación de tiempos para operaciones externas

Operaciones externas	Inicial	Posterior
Buscar placas disponibles	323.6	0.0
Limpiar mesa de trabajo	106.4	119.6
Colocar placa	1.7	2.0
Desmontar tornillos de angulos anteriores	25.3	22.8
Montar tornillos de angulos nuevos	30.7	35.0
Colocar placa en carrito para ser transportada	1.5	2.1
Transportar placa a modulo	68.4	68.4
Llevar barras de nuevo modelo a estacion de trabajo	83.6	0.0
Tiempo total (Seg)	641.2	249.9

**T de dos muestras para Op. Externas Iniciales vs. Op. Externas Posteriores**

	N	Media	Desv. Est	Error estándar de la media
Op. Externas Iniciales	45	641	178	27
Op. Externas Posteriores	45	257.9	63.8	9.5

Diferencia =  $\mu$  (Op. Externas Iniciales) -  $\mu$  (Op. Externas Posteriores)

Estimado de la diferencia: 383.2

Límite inferior 95% de la diferencia: 336.0

Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = 13.58 Valor P = 0.000 GL = 55

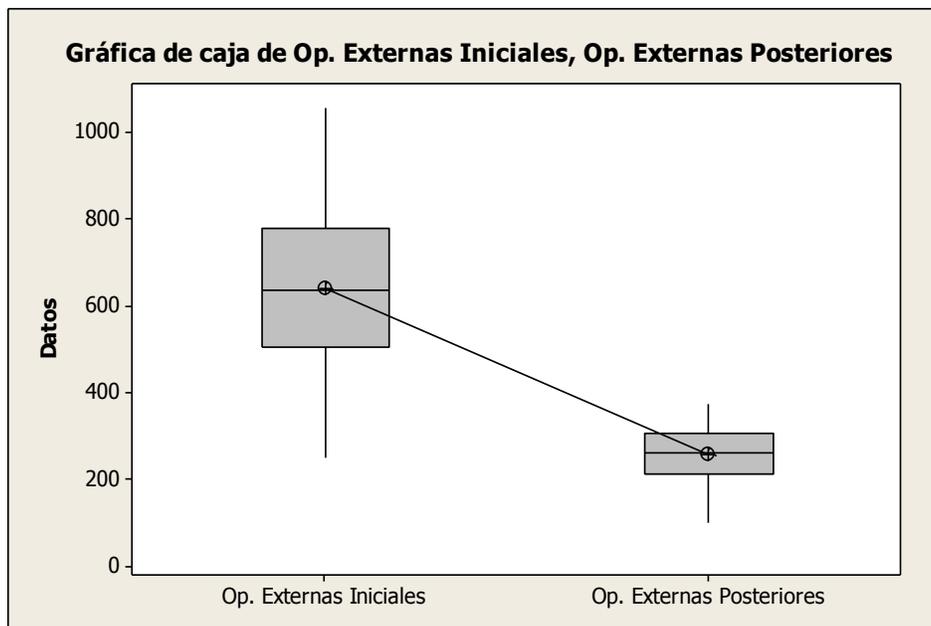


Figura 3 Gráfica con la diferencia de medias

El conjunto total de datos recolectados fueron analizados mediante estadística descriptiva obteniendo como resultado un comportamiento normal, una media de 422.9 y una desviación estándar de 73.3, además el valor de probabilidad es mayor que 0.05 lo que comprueban la tendencia normal de los datos. Después del análisis, se realizó una prueba de hipótesis

para validar los datos, la prueba de hipótesis consistió en una prueba *t de 2 muestras*, para realizar una comparación entre las medias donde los resultados arrojados muestran una diferencia entre las medias de cada conjunto de datos mostrado en la gráfica de figura 4.9, además el valor de probabilidad es 0.000. El gráfico de la figura 4 muestra la comparación entre la desviación estándar de

ambos conjuntos de muestras, donde los tiempos iniciales se encuentran con una mayor dispersión que tiempos posteriores

mejorando de 182.4 a 73.3 de desviación estándar, lo que indica que el proceso tiene un mayor control.

**T de dos muestras para Tiempo inicial vs. Tiempo posterior**

	N	Media	Desv. Est	Error estándar de la media
Op. Externas Iniciales	45	863	182	27
Op. Externas Posteriores	45	422.9	73.3	11

Diferencia =  $\mu$  (Tiempo inicial) -  $\mu$  (Tiempo posterior)  
 Estimado de la diferencia: 440.5  
 Límite inferior 95% de la diferencia: 391.5  
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. >): Valor T = 15.03 Valor P = 0.000 GL = 57

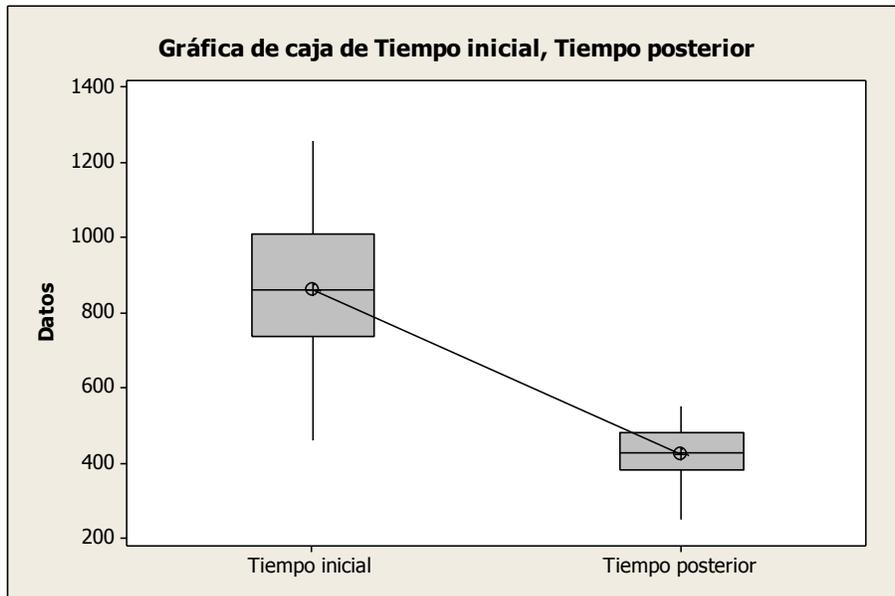


Figura 4. Gráfica de caja para medias

Con el análisis descriptivo y los resultados obtenidos se concluye que existe evidencia suficiente rechazar la hipótesis nula, por lo que se puede afirmar que la media del conjunto de datos inicial es mayor que la media del conjunto de datos posterior:

$$H_1: 12min > \bar{X}_2$$

Validando de esta manera la Hipótesis alterna.

## Conclusiones

El uso de Lean Sigma debido a la eficiencia y rapidez de implementación permite en este caso el desarrollo de una metodología para la reducción de tiempos muertos por la preparación de maquinaria. Después de realizar un análisis inicial en el que se pudo obtener las causas principales de tiempos muertos en una empresa de la localidad dedicada a la fabricación de filtros, posterior a este análisis se decide atacar los tiempos muertos por preparación de maquinaria para los cambios de modelo. Para el desarrollo de la solución un análisis de la situación actual, permitió tener un panorama más amplio del problema y en base a sus resultados comenzar a atacar los problemas, clasificando las actividades en internas y externas. El primer paso es atacar las actividades internas en orden de prioridad y posteriormente las actividades externas en el mismo orden.

Las mejoras que se aplicaron como desarrollo de solución mostraron resultados favorables al obtener reducciones en los tiempos de preparación, tal es el caso del diseño de las barras ajustables, con el cual se pudo eliminar 3 actividades reduciendo así los tiempos de maquina detenida. Otro caso fue el diseño generado para la sujeción de la placa dentro de la prensa con lo cual se logró la reducción de tiempo del 12%.

Las mejoras aplicadas para las operaciones internas redujeron sus tiempos en un 25% y las mejoras para las actividades externas redujeron el tiempo en 61%.

Después de realizado este proyecto se puede ver que la secuenciación del producto no es adecuada por que el número de cambios se puede programar, realizando una planeación adecuada de los modelos que entraran por semana de la producción, permitiendo con ello un estudio futuro.

## Referencias

Estrada, F. J., & Alba-Baena, N. (2014). Creating the Lean-Sigma synergy. In C. S. Lean Manufacturing in the Developing World-Methodology. Springer.

Fernando Filardi, Debora Berti, Valter Moreno. (2015). Implementation analysis of Lean Sigma in IT Applications: A multinational Oil Company Experience in Brazil. *Procedia Computer Science*, Vol. 55 pp 1221-1230

Mason S.E., Nicolay C.R. , Darzi A. (2015) The use of Lean and Six Sigma methodologies in surgery: A systematic review. *The Surgeon*, Vol. 13 Issue 2 April 2015 pp 91-100

Youssef, A., Rachid, C., & Ion, V. (2014). Contribution to the Optimization of Strategy of Maintenance by Lean Six Sigma. *Physics Procedia*, 55, 512-518.