

# Aplicación del mantenimiento preventivo y rediseño de herramientales para reducir el desperdicio de empaques para rastrillos

J. E. Valtierra Olivares<sup>1\*</sup>, A. A. Elizondo Cárdenas<sup>2</sup>, J.C. Baltazar Vera<sup>1</sup>, C. de J. Rodríguez Rodríguez<sup>1</sup>, O. Martínez Jiménez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Minas, Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Ex-Hacienda San Matías s/n; C.P. 36000, Guanajuato, Gto.

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carretera Irapuato-Silao km 12.5 Colonia El Copal, Irapuato, Gto. C.P: 36821

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del ISTMO, Carretera Panamericana Km. 821, Hac. Juchitán de Zaragoza Oax. C.P: 70000  
\*valtierra.je@ugto.mx

**Área de participación:** Ingeniería Industrial

## Resumen

El funcionamiento inadecuado de las máquinas por falta de mantenimiento ocasiona paros y fallas que afectan la productividad de la línea de producción, al mismo tiempo los paros por ajustes o cambios de modelo en la máquina son parte de las pérdidas más grandes en la mayoría de las empresas. El proyecto consiste en identificar y reducir las causas que provocan el desperdicio en empaques de rastrillos, para dar solución al problema se propone utilizar herramientas como el mantenimiento preventivo, el rediseño de herramientales y trabajo estándar en el cambio de modelo, se busca buscar cumplir con el objetivo de un máximo de 2.5% de desperdicio. Los resultados fueron una reducción del 83% en el desperdicio de empaques ocasionado por paros, fallas y ajustes con esto se logró una reducción del 50% en el costo por desperdicio, otro resultado es el incremento de la eficiencia y disponibilidad de la máquina en un 18%, y al estandarizar el cambio de modelo se redujo el tiempo de cambio en un 40%.

**Palabras clave:** Manufactura esbelta, Rediseño de herramientales, Mantenimiento preventivo (MP) y Metodología DMAIC.

## Abstract

*The inadequate operation of the machines due to lack of maintenance causes stoppages and failures that affect the productivity of the production line, at the same time the stoppages due to adjustments or changes of model in the machine are part of the biggest losses in most of the Business. The project consists of identifying and reducing the causes that cause the waste of rake packaging, it is proposed to use tools such as preventive maintenance, the redesign of tooling and standard work in the model change to seek to meet the objective of a maximum of 2.5 % waste. The results were a reduction of 83% in packaging waste caused by work stoppages, failures and adjustments. This resulted in a 50% reduction in the cost of waste, another result is the increase in efficiency and availability of the machine in 18%, and when standardizing the model change, the time in which they did it was reduced by 40%.*

**Key words:** Lean Manufacturing, Tooling redesign, preventive maintenance (PM) and DMAIC methodology.

## Introducción

La manufactura esbelta se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o exceso, entendiéndose como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero si un costo y trabajo. Se debe entender que la manufactura esbelta es el esfuerzo incansable y continuo para crear empresas más efectivas, innovadoras y eficientes [Socconini, 2008].

La importancia del mantenimiento industrial radica en la necesidad que tienen las empresas de conservar todas sus máquinas e instalaciones trabajando continua y eficientemente. Existen dos formas de mantenimiento, uno es el correctivo dedicado a la reparación de los equipos en el momento en que fallan; y el otro, es el preventivo encargado de detectar daños en los equipos antes de que éstos dejen de funcionar y detengan el proceso de producción [William, 2010]. El objetivo fundamental del mantenimiento es asegurar que las máquinas estarán en disposición de producir un mínimo de horas al año, y garantizar un tiempo mayor de vida útil a los equipos [Santiago, 2009].

La reingeniería es el rediseño de un proceso fue enunciada por primera vez por Michael Hammer y James Champy. Desde ese momento, la idea del rediseño en las organizaciones toma un énfasis especial, de tal forma, que estas enunciaban que cualquier proyecto de relevancia para la empresa era una reingeniería. Tras, esto, los objetivos iniciales iban desapareciendo y quedando los que eran más plausible. Entre los objetivos habituales de la reingeniería de procesos estarían: mayor beneficio económico debido, tanto a la reducción de costos asociados al proceso, como al incremento de rendimiento de los procesos; mayor satisfacción del cliente debido a la reducción del plazo de servicio y mejora de la calidad del producto/servicio; mayor satisfacción del personal debido a una mejor definición de procesos y tareas; mayor conocimiento y control de los procesos; conseguir un mejor flujo de información y materiales; disminución de los tiempos de proceso del producto o servicio y mayor flexibilidad frente a las necesidades de los clientes [Brandon, 1995].

La estandarización de trabajo es una de las herramientas lean más poderosas pero de las menos utilizadas en el mundo de la industria, cada empresa lo debería utilizar para mejorar continuamente su proceso de producción. Lo más común, es que cada trabajador realice el mismo trabajo a su manera y por tanto, que cada uno traje con una metodología distinta para obtener el mismo resultado, lo que se busca es que todos y cada uno de los operarios trabajen de la misma manera, para un mismo proceso de producción.

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, esta es una metodología de mejora de procesos usado por Seis Sigma, y es un método iterativo que sigue un formato estructurado y disciplinado basado en el planteamiento de una hipótesis y su subsecuente para confirmar o rechazar la hipótesis previamente planteada antes de la realización de experimentos y se ha convertido en la forma estándar de resolver problemas operacionales y de diseño tanto en la manufactura como en los sistemas de servicio [Brue, 2002].

La empresa inicio operaciones hace 5 años convirtiéndose en la principal proveedora de empaques de rastillo para el cliente. Este proyecto se realizó con el apoyo del equipo de mejora continua de la planta, siguiendo los pasos propuestos en la metodología DMAIC. Para el desarrollo de este proyecto se selecciona la máquina con más problemas de desperdicios del área de producción, y se busca disminuir el desperdicio ocasionado por fallas, averías y ajustes en el proceso, utilizando mantenimiento preventivo, rediseño de herramientales y trabajo estándar aplicado al cambio de modelo.

## Problemática

Actualmente en la empresa se ha observado un incremento en el costo por desperdicios en empaque para rastillo, esto se debe al aumento de piezas defectuosas en el proceso de fabricación, el cliente a puesto especial interés en este problema solicitando al proveedor implementar mejoras en el proceso de producción. El cliente permite solo un 2.5% de desperdicio de la producción de empaques, este indicador se encontraba en 23%.

## Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se utiliza los pasos propuestos por la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). En el primer paso se establece que el indicador para evaluar la mejora es el porcentaje de desperdicio, en la etapa 2 se empieza a medir el porcentaje de desperdicio por cada máquina de producción durante un periodo de tres meses, en esta etapa se selecciona la máquina con mayor número de desperdicios, en la siguiente se analizan y evalúa los tipos de fallas, paro y defectos que se presentan en los empaques de rastillos, en la etapa de mejora se implementan las acciones y cambios al proceso de fabricación, y en la última etapa se propone utilizar gráficos de control por atributos para el monitoreo el desperdicio que se genera en las líneas de producción.

## Desarrollo

### Etapa 1 Definir

En esta etapa se define al personal que formara parte del equipo de mejora continua para el desarrollo del proyecto, también se establecen una agenda de trabajo para las reuniones semanales donde se presentarán los avances del proyecto. El objetivo del proyecto es reducir el desperdicio de empaques a un 2.5 %.

### Etapa 2 Medir

En esta etapa se analiza el desperdicio de los empaques para rastillo durante tres meses, los resultados se muestran en Figura 1, en la gráfica se observa como el desperdicio fue disminuyendo mes con mes simplemente con empezar a medir los defectos por turnos de trabajo.

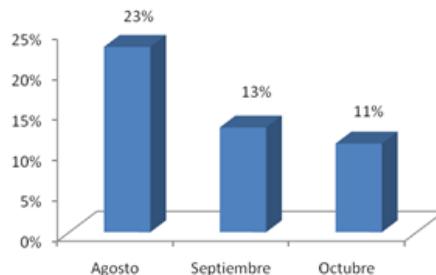


Figura 1. Análisis del porcentaje de desperdicios de tres meses.

Después se analiza el desperdicio para cada uno de los productos que se fabrican, en la Figura 2 se observa una gráfica que muestra que el producto 1 y el 2 representan el 80 % del desperdicio total, estos son empaques de cuatro y seis rastrillos.

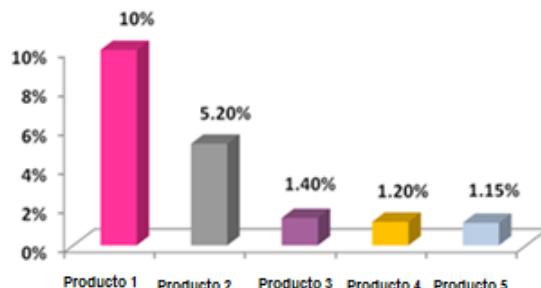


Figura 2. Porcentaje de desperdicio por producto.

### Etapa 3 Analizar

En esta etapa se identifica los motivos que causan el desperdicio de empaques ver Tabla 1, en esta se observa que los ajustes y paro de máquina representan el 45.7 % del total de desperdicio, por esta razón el equipo de mejora establece que se trabajara en mejorar los problemas de ajustes y paro de máquina.

Tabla 1. Porcentajes de desperdicio por motivo.

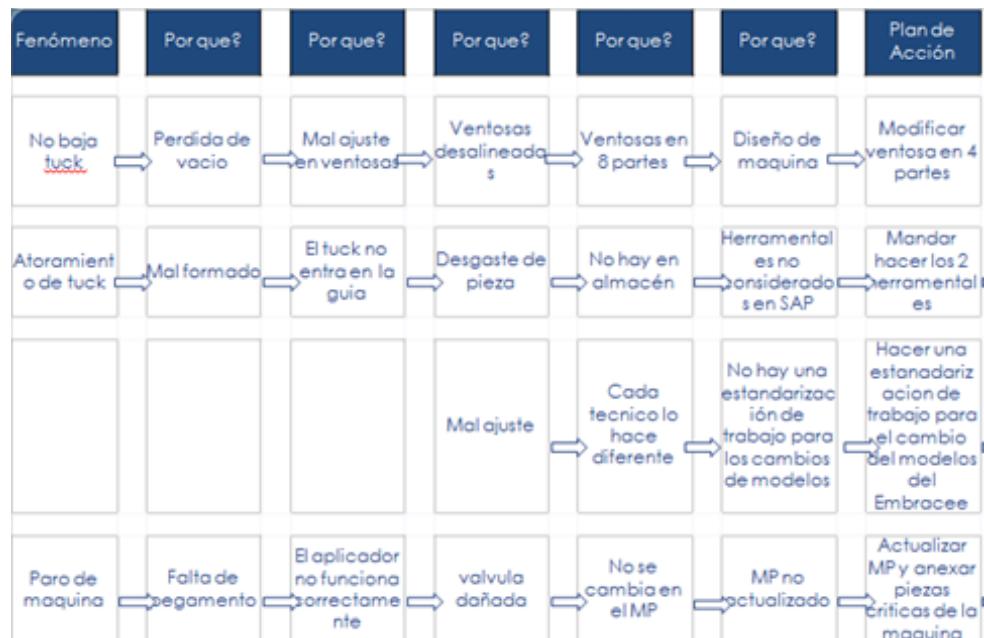
Motivo	Cantidad	Porcentaje
Ajustes	195	28.8
Paro de máquina	105	15.5
Pestaña por fura	72	10.6
Desalineado	71	10.5
Falta de pegamento	70	10.3
Caja sola	56	8.2
Atoramiento de empaque	42	6.2
Personal	40	5.2
Punta golpeada	25	3.6

Se realiza un análisis de los tiempos de paro y ajuste de la máquina ver Tabla 2, en esta tabla se observa que hay tres causas que representan el 64 % del tiempo total de paros y ajustes, estos son: no baja empaque, no hay válvula y el atoramiento de empaque, el grupo decide que por el momento se trabajará con estas tres principales causas.

**Tabla 2. Reporte de tiempos de paros de la máquina seleccionada.**

Paro y ajuste de máquina	Tiempo
No baja empaque	48
No hay válvula	43
Atoramiento de empaque	33
Cambio de magazín	7
Falta de banco	8
Cartucho golpeado	7
Colocación de guías en el plato	5
Desalineado	5
Falla del sensor	5
Máquina des calibrada en el peso	5
Material incompleto	6
No forma empaque	6
Acomodo de helicóptero	4
Ajuste de pegamento	4
Falta de pegamento	4
Cartucho manchado	4

Se utiliza la herramienta de los cinco porqué para determinar la causa raíz y un plan de acción para cada uno de los principales motivos de paros y ajustes en la máquina, en la Figura 3 se observa el desarrollo de esta actividad, el resultado es un plan de acción que propone modificar las ventosas, mandara hacer más herramientales, estandarizar el cambio de modelo y la actualización del programa de mantenimiento preventivo.



**Figura 3. Análisis de los 5 porqué**

#### Etapa 4 Mejorar

En esta etapa se realizan las propuestas de mejoras al proceso establecidas en el plan de acción de los cinco porque.

##### Rediseño de ventosas

El problema de que no baja el empaque era el mal ajuste de las ventosas, por este motivo se modifican los herramientales, en la Figura 4A se muestra como las ventosas están separadas y se realizan 8 ajustes de forma individual, la modificación de las ventosas se muestran en la Figura 4B donde se observa la unión de dos ventosas con este cambio solo se realizar 4 ajustes disminuye el tiempo de ajuste.

El resultado de esta modificación es la reducción del tiempo de ajuste de las ventosas motivo por el cual provocaba que no bajara el empaque, anteriormente el ajuste de las ventosas se realizaba aproximadamente en 40 minutos y después de las modificaciones se realiza en tan solo en 10 minutos, con esto se alcanza una reducción del 75% en el tiempo de ajuste, también una reducción en el desperdicio de empaques al momento de realizar ajustes en las ventosas porque anteriormente se usaba en promedio 150 empaques y después solo se usa en promedio 25, se logra un disminución del 80% en desperdicios ocasionados por ajuste de ventosas en los cambios de modelo.



Figura 4. Rediseño de las ventosas.

##### Mantenimiento preventivo

Se propone una actualización del formato y programa de mantenimiento preventivo, en el anterior la empresa contaba solo con un mantenimiento preventivo básico, este se modifica para tener un mayor control de las refacciones tanto físicas como en el sistema, se propone que se haga extensivos a las demás máquinas existentes de toda la planta. Con este formato de mantenimiento se puede llevar un mejor control de las refacciones, piezas y herramientales, además de identificar y marcar los herramientales para cada máquina existente en piso. El resultado de cumplir con el programa de mantenimiento preventivo ayudo a reducir paros y ajustes en la máquina, logrando un incremento en la disponibilidad de máquina en un 18%, ver Figura 5.

##### Fabricar herramientales

Se manda fabricar más herramientales con la finalidad de que cada máquina cuente con un mínimo de dos juegos, además se identifican y asignan herramientales a cada una de la máquinas esto con el propósito de reducir los ajustes y los tiempos muertos al buscarlos e identificarlos en el almacén.

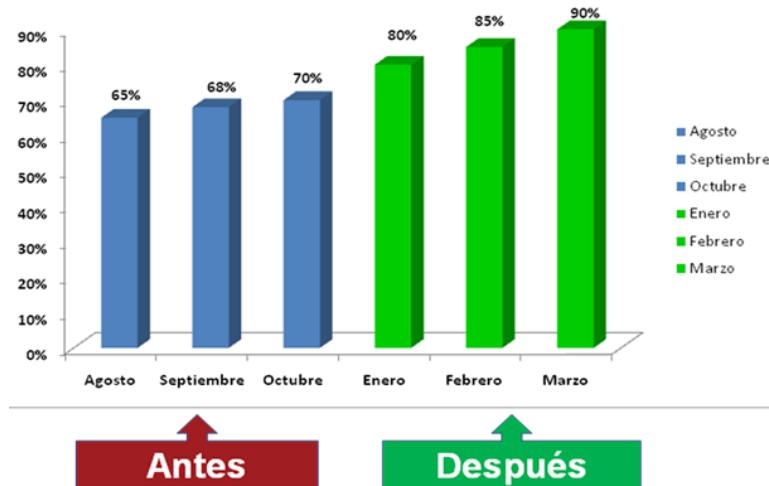


Figura 5. Disponibilidad de la máquina antes y después de las mejoras.

#### Trabajo estándar el cambio de modelo

Se realiza un estudio de tiempos y movimientos para analizar la actividad de cambio de modelo y de esta manera establecer un método estándar para los operadores, se realiza un procedimiento para hacer el cambio de modelo y se utiliza una ayuda visual para describir los pasos que debe seguir el técnico al momento de hacer los cambios de modelo en la máquina. Para esto fue necesario reunir a los técnicos de los 3 turnos para capacitarlos sobre el procedimiento de cambio de modelo.

#### Etapa 5 Control

Para dar seguimiento al control se establece el uso de Gráficas de control por atributos, se establece utilizar la Gráfica P la cual ayuda a monitorear los porcentajes de defectos que son generados en producción, además se da seguimiento a cada actividad implementada en la máquina, es importante que cada acción sea aprobada y firmada por el responsable del área de producción y se comprometa a dar seguimiento mediante auditorías internas.

## Resultados

Se observa que el costo por desperdicio de empaque se va reduciendo por ejemplo para el mes de enero se tiene un gasto de \$104,796.9, para el segundo mes se disminuye a \$90,263.85 pesos y en el tercer mes se tiene un gasto de \$69,219.6 pesos. Se comparan con los tres meses anteriores al proyecto donde el costo es de \$ 472,236.9 pesos y después del proyecto solo se tiene un costo de \$207,956.55 pesos, analizando la diferencia se tuvo un ahorro de \$264,280.35 pesos, el resultado fue una disminución en el costo por desperdicio de empaque del 50%.

Se logra también incrementar la eficiencia de la máquina anteriormente se tenía una eficiencia de 67% y después del proyecto se obtuvo una eficiencia del 85%, teniendo un aumento del 18% de disponibilidad de la máquina y al mismo tiempo mayor productividad.

Al inicio del proyecto se tenía un 23% de desperdicios de empaques, durante el desarrollo de las acciones y la implementación del proyecto se obtuvo un 10%, después se plantean nuevas metas y se logró llegar a un 3.8 %, con esto se alcanza una disminución del 83% en el desperdicio de empaque, se debe seguir trabajando en la mejora continua para seguir disminuyendo el desperdicio. En la Figura 6 se muestra la tendencia de los desperdicios de empaques antes y después de las mejoras.

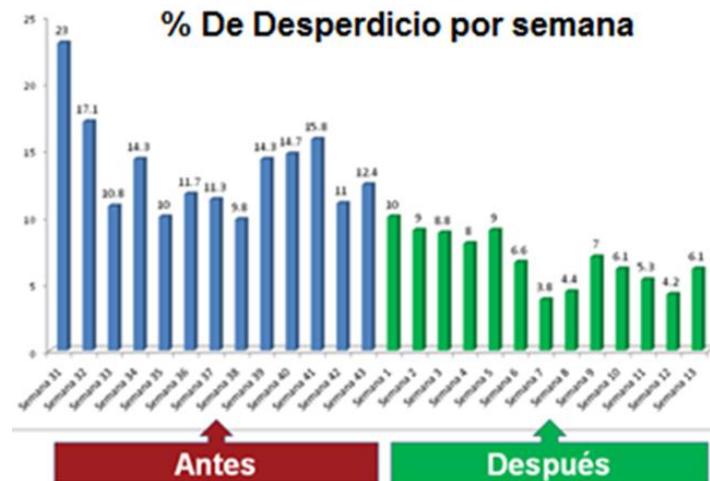


Figura 6. Tendencia del porcentaje de desperdicio.

Se realiza una prueba de comparación de medias para sustentar que si existe una diferencia significativa entre las muestras de antes y después, ver Figura 7, en ella se observa que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por lo que se demuestra que si existe diferencia significativa entre ambas muestras, para apoyar esta decisión se muestra el grafico de caja y bigotes.

#### Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Antes: 12.7667 +/- 1.52401 [11.2427, 14.2907]  
 Intervalos de confianza del 95.0% para la media de Despues: 6.79231 +/- 1.23584 [5.55646, 8.02815]  
 Intervalos de confianza del 95.0% intervalo de confianza para la diferencia de medias  
 suponiendo varianzas iguales: 5.97436 +/- 1.83944 [4.13492, 7.8138]

#### Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: media1 = media2  
 Hipótesis Alt.: media1 <> media2  
 suponiendo varianzas iguales:  $t = 6.71386$  valor-P = **7.46137E-7**  
 Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.

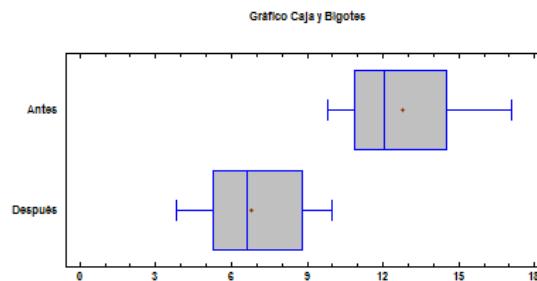


Figura 7. Prueba de comparación de medias del porcentaje de desperdicio.

Con el rediseño de las ventosas se logra una reducción del 40% en el tiempo de cambio de modelo, de hacer 6 horas pasar a tan solo 3.5 horas para los modelos de seis y cuatro rastillos, también se logra una disminución en el desperdicio empaques al realizar el cambio de modelo porque se utilizaban en promedio 150 piezas para ajuste y ahora se usan aproximadamente 25 empaques, logrando una reducción de 83% en desperdicio al momento de hacer cambios de modelo.

## Conclusiones

El uso de las metodología DMAIC en combinación con herramientas de manufactura esbelta como el mantenimiento preventivo, el rediseño de los herramientales y el trabajo estándar ayudaron al disminuir el desperdicio en un 83%, además de tiempos muertos por fallas o ajustes en la máquina y el costo por desperdicios de empaques. El dar seguimiento al mantenimiento preventivo ayudo a que las refacciones, piezas y herramientales estén disponibles en almacén, y se pueda realizar el cambio cuando se necesiten, con esto se logra un mejor control en la empresa.

Los beneficios para el técnico con este proyecto es que se le facilite hacer los cambios de modelos y al mismo tiempo reducirán los ajustes en la máquina. Los beneficios para la empresa es la disminución de paros de máquina, la reducir el desperdicio de empaques, incrementos en producción y las ganancias. La recomendación para la empresa es continuar haciendo proyectos de mejora continua, con la finalidad de seguir incrementando la eficiencia y al mismo tiempo disminuir el desperdicio para obtener mayores beneficios.

## Agradecimientos

Se agrade la disponibilidad de la empresa y al equipo de mejora continua para el desarrollo de este proyecto, por cuestiones de privacidad se reserva el derecho de no mencionar el nombre de la empresa.

## Referencias

1. William, O-C; Marcela, B-A y Benhur, C-A. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industrial. *Scientia Et Technica*, vol. XVI, num. 45, pp. 223-226.
2. Brandon, J.y Morris, D. (1995). Reingeniería. Como aplicarla con éxito en los negocios. Mc. Graw Hill, Madrid, España.
3. Santiago García Garrido (2009-2012). Manual Práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. (Renovatec <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>)
4. Brue, G. (2002). Six Sigma for Managers. Mc Graw-Hill.
5. Socconini, L. (2008). Lean Manufacturing paso a paso. Grupo Editotia Norma.