

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE HIPÓTESIS PARA VALIDAR LOS TIEMPOS DE PARO DESPUÉS DE APLICAR MANTENIMIENTO AUTÓNOMO

Dr. Fernando Ortiz Flores^{*}

M. I. Jesús Guillermo Vilchis Santos^{**}

Dr. Oscar Báez Senties^{***}

M. en E. Ana María Alvarado Lassman^{****}

^{*} Doctor en Planeación estratégica y dirección de tecnología por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Profesor-Investigador de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Orizaba. Correo electrónico: ferchilo@prodigy.net.mx

^{**} Maestro en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Correo electrónico: memo_vilchis@hotmail.com

^{***} Doctor en Ingeniería en Procesos y Medio Ambiente en el Instituto Nacional Politécnico de Toulouse, Francia. Profesor-Investigador de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Orizaba. Correo electrónico: obaez70@yahoo.com.mx

^{****} Maestra en Educación de la Universidad de San Luis Potosí. Profesor investigador del Departamento de Sistemas y Computación. Correo electrónico: lassmann@prodigy.net.mx

Aplicación
de pruebas de
hipótesis para
validar los tiempos
de paro después de
aplicar mantenimiento
autónomo

RESUMEN

El desarrollo de pruebas de hipótesis es una herramienta estadística que permite validar si los resultados obtenidos de la aplicación de una metodología son significativos, es decir, si éstos realmente muestran la mejoría que se observa a la luz de un criterio cuantitativo que puede captar los deseos de mejora del analista y no los resultados reales del proceso en análisis. El presente trabajo desea mostrar cómo se aplicó una prueba de hipótesis de comparación de dos proporciones para la duración de los tiempos de paro antes y después de la aplicación de la herramienta de ingeniería industrial denominada Mantenimiento Autónomo (MA, en inglés de Autonomous Maintenance AM) en el área productiva de forja de una empresa metal-mecánica¹ ubicada en la región centro de Veracruz que se dedica a la fabricación de productos para jardinería y construcción.

Palabras clave:

Mantenimiento autónomo,
pruebas de hipótesis de dos proporciones.

¹ Por motivos de confidencialidad no se menciona el nombre de la empresa

1. Introducción

El MA, pilar fundamental del TPM, es una herramienta que permite que los asociados de un departamento de producción, de alguna empresa, participen activamente en la mejora de su proceso, con actividades de limpieza, inspecciones y ajustes. Para que esta mejora se dé, los asociados deben ser entrenados sistemáticamente en los conceptos y ventajas de este MA.

La implantación del MA evita el deterioro acelerado de los equipos, ya que permite detectar y tratar con prontitud las anomalías que presentan éstos, logrando varios beneficios: disminuir los tiempos de paro por fallas y averías, llevar el equipo a su estado ideal a través de su restauración, disminuir el número de defectos y de reprocesamiento de los productos, y establecer las condiciones básicas necesarias para tener el equipo en buen estado permanentemente (Shirose, 1994).

2. Fases para implantar el mantenimiento autónomo.

Para llevar a cabo la implantación del MA se pueden utilizar las 7 fases que propone Kunio Shirose (1994), en su libro "TPM para operarios":

1. Limpieza inicial.
2. Eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles.
3. Creación de estándares de limpieza y lubricación.
4. Inspección general.
5. Inspección autónoma.
6. Organización y orden del área de trabajo.
7. Programa de mantenimiento autónomo.

La metodología para la implanta-

ción del MA en la empresa en estudio, que dio buenos resultados, tal como se mostrará posteriormente con las pruebas de hipótesis, fue la siguiente:

- a) Determinación de la situación actual de la empresa.
- b) Obtención de apoyo por parte de la empresa.
- c) Sensibilización e involucramiento del personal hacia el cambio.
- d) Capacitación en MA.
- e) Aplicación de una prueba piloto.

En esta metodología las fases del MA propuestas por Shirose (1994), están implícitas en la etapa d y e.

La etapa d: capacitación en MA; se dio mediante cursos de una hora, cada semana durante el mes de Abril de 2009, con el objetivo de que los trabajadores se involucraran y participaran en la implantación del Mantenimiento autónomo: etapa e, denominada aplicación de una prueba piloto.

La prueba piloto consistió en aplicar los 7 pasos de la metodología del MA (Shirose, 1994) en el área de forja con la finalidad de disminuir los tiempos de paro por fallos y averías.

Es importante mencionar que el artículo se centra en la validación de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la prueba piloto.

3. Obtención de la duración de tiempos de paro antes de implantar MA.

Para obtener datos de la duración del tiempo de paro en el área de forja se contabilizó, durante 7 horas de operación de cada turno de trabajo² en el periodo del 1 al 28 de Febrero del 2009, el número de

²La empresa trabaja 3 turnos de lunes a viernes, sábado 1 turno y 2 horas el domingo (28560 minutos durante el periodo de observación)

paros presentados durante este periodo en el área de forja, los tiempos de paro debidos a averías y a cambios o ajustes.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1; esta tabla muestra las causas de paro del área de forja, el número de veces que se produjeron paros, el tiempo promedio de duración de los paros y el tiempo total de duración de paro de esta área.

Los resultados obtenidos muestran que el área de forja presenta un tiempo de paro de 5211 minutos/mes y que las actividades de mantenimiento son las que generan el mayor tiempo de paro durante el periodo de observación: 1991 minutos/mes (Figura 1).

Área de trabajo	Causa del paro repetido o prolongado	Número de veces en el periodo	Minutos por máquina promedio	Total minutos
Forja	Cambio de bocas	23	42	966
	Ajuste de bocas	30	12	360
	Cambio de referencia de la guía	1	21	21
	Cambio de referencia por tamaño	2	61	122
	Ajuste de las guías	6	2291.833333	1751
	Actividades de mantenimiento	5	398.2	1991
	Tiempo total de paro en minutos			

Tabla 1: Causas de paro repetidos y prolongados, número de paros, duración promedio de los paros y tiempo total de paro por área de trabajo.

Principales causas de paro en el área de forja

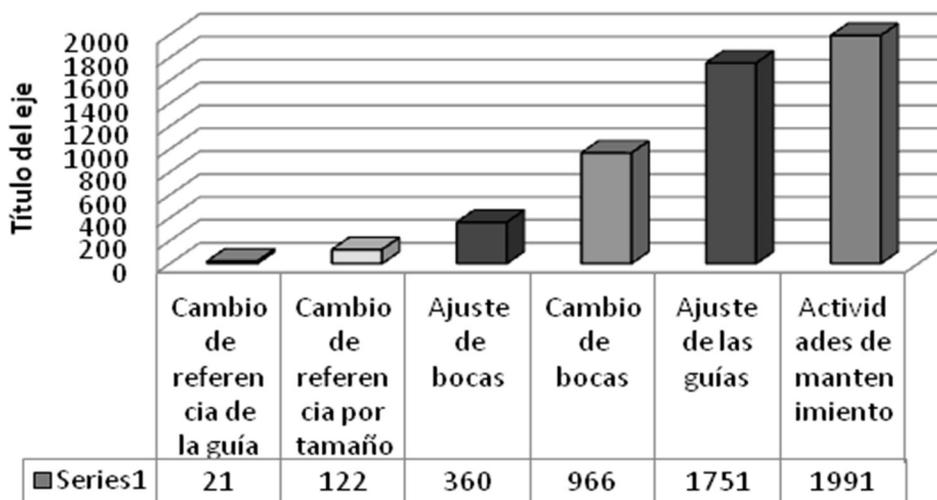


Figura 1 : Representación de la duración de las principales causas de paro en el área de forja.

4. Obtención de la duración de tiempos de paro después de implantar MA.

Para tener una idea clara sobre los resultados obtenidos acerca de la duración de los tiempos de paro después de la aplicación del MA, a través de la prueba piloto, se realizaron mediciones de la duración de éstos en las siguientes actividades:

1. Cambio del juego de bocas.
2. Ajuste en el juego de bocas.
3. Actividades de mantenimiento.
4. Ajuste de las guías.

5. Cambio de referencia de la guía del perfil.
6. Cambio de referencia por tamaño del perfil.

La tabla 2 muestra los tiempos de paro de cada una de estas actividades ocurridos durante 7 horas de operación de cada turno de trabajo en el periodo de observación: del 17 de Agosto al 12 de Septiembre de 2009, y la gráfica de la figura 2 muestra las principales causas de paro ordenadas ascendentemente en función de su tiempo total de paro. En esta gráfica se observa que las actividades de mantenimiento ya no son las principales causas de paro en el área de forja.

Área de trabajo	Causa del paro repetido o prolongado	Número de veces en el periodo	Minutos por máquina promedio	Total minutos
Forja	Cambio de bocas	19	39.86	757.34
	Ajuste de bocas	24	9.67	232.08
	Actividades de mantenimiento	2	287.50	575.00
	Ajuste de las guías	1	247.60	247.60
	Cambio de referencia de la guía	0	0.00	0.00
	Cambio de referencia por tamaño	2	57.75	115.50
	Tiempo total de paro en minutos			

Tabla 2: Tiempos de paro de cada actividad durante el periodo de observación

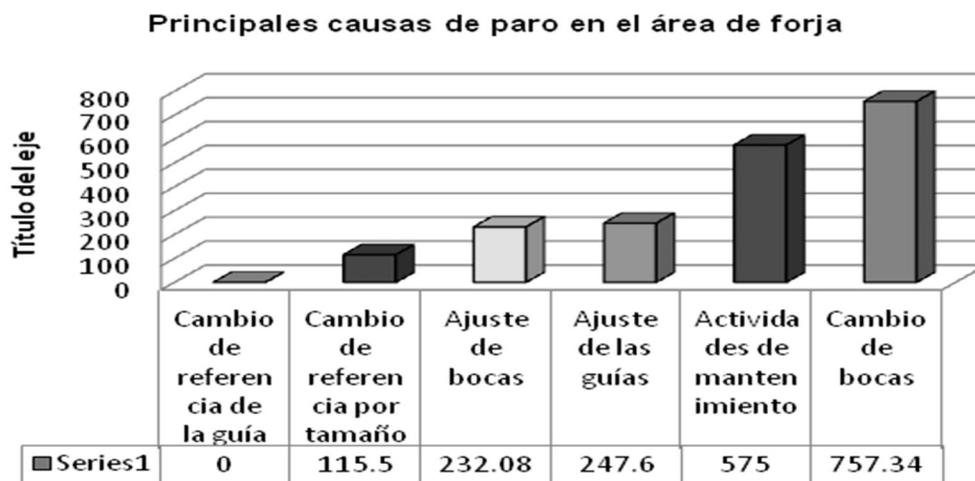


Figura 2: Representación de la duración de las principales causas de paro en el área de forja.

Los resultados observados en la figura 2 o tabla 2, indican que se redujo considerablemente la principal causa de paro del área de forja de la empresa: actividades de mantenimiento; en un 70.95%, ya que el tiempo de paro por actividades de mantenimiento antes de utilizar MA era de 1991 minutos y después de aplicar MA el tiempo se redujo a 575 minutos. A simple vista (criterio cualitativo) este resultado proporciona un mayor tiempo disponible de las máquinas forjadoras, y por consiguiente, una mejora en el proceso que puede ayudar a obtener una ventaja competitiva, si ésta continua en otras áreas del proceso. Sin embargo, para eliminar el criterio cualitativo se decidió validar estos resultados mediante la realización de las siguientes pruebas de hipótesis:

1. Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por actividades de mantenimiento.
2. Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por ajuste de las guías.
3. Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por cambio del juego de bocas.
4. Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por ajuste del juego de bocas.

Debido a que las actividades de mantenimiento son la principal causa de paro, esta prueba de hipótesis es la que se ilustrará con detalle en el presente artículo.

5. Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por actividades de mantenimiento.

Para aplicar la prueba de hipótesis, de comparación del tiempo total de paro por actividades de mantenimiento, se utilizó la metodología propuesta por Montgomery (1999) sobre la comparación de

dos proporciones. Para realizar esta prueba de hipótesis se realizó lo siguiente:

- Conocer el tiempo total de operación de 2 muestras aleatorias independientes de tamaño n_1 y n_2 , antes y después de aplicar la metodología del MA. Estos valores son $n_1=28560$ minutos y $n_2= 28560$ minutos.
- Conocer el tiempo total de paro por actividades de mantenimiento x_1 y x_2 , antes y después de la aplicación de la metodología del MA. Estos valores son $x_1=1991$ y $x_2=575$ minutos (Tablas 1 y 2 respectivamente).
- Formular la hipótesis nula y la hipótesis alternativa

Una vez conocidos el tiempo total de paro por actividades de mantenimiento (x) y el tiempo total de operación (n), antes y después de la aplicación del MA, se formuló la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) para determinar si el tiempo total de paro por actividades de mantenimiento antes de aplicar MA era mayor al tiempo total de paro por actividades de mantenimiento después de utilizar MA. En otras palabras se tiene la siguiente relación:

$H_0: x_1 = x_2;$ Hipótesis nula.
 $H_1: x_1 \neq x_2;$ Hipótesis alternativa.

De esta forma, sustituyendo los datos se tiene:

$H_0: X_1 = 575;$ Hipótesis nula.
 $H_1: X_1 \neq 575;$ Hipótesis alternativa.

Calcular el estimador del parámetro \hat{p} mediante la ecuación 1.

$$\hat{p} = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} \dots \dots \dots \text{ecuación 1}$$

$(x_1+x_2)/(n_1+n_2)$

Sustituyendo los valores x_1 , x_2 , n_1 y n_2 en la ecuación 1 se tiene:

$$\hat{p} = \frac{1991 + 575}{28560 + 28560} = 0.04492$$

- Establecer el nivel de significancia (α). Una vez determinada la hipótesis nula y alternativa, se realizó la prueba de hipótesis con un nivel de confianza del 99% ($1-\alpha=99\%$). Es importante mencionar que valores altos del nivel de confianza disminuyen la probabilidad de que la hipótesis nula (H_0), sea rechazada cuando ésta es verdadera (Montgomery, 1999).
- Calcular la región crítica para establecer el límite de aceptación o rechazo de la hipótesis nula.
- Una vez determinado el nivel de significancia, se determinó el valor de la región crítica mediante la ecuación 2.

$$\pm Z_{\alpha/2} \dots \dots \dots \text{ecuación 2}$$

Este valor permite determinar la región de rechazo o aceptación de la hipótesis nula (Montgomery, 1999), mediante la siguiente observación:

$$\text{Rechazar } H_0: p_1=p_2 \quad \text{sí } z_0 > z_{0.005} = 2.58$$

$$\text{o sí } z_0 < z_{-0.005} = -2.58$$

- Calcular el valor del estadístico de prueba z_0 .
- Una vez determinada la región crítica se calculó el valor del estadístico de prueba z_0 sustituyendo los valores en la ecuación 3.

$$z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p}) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \dots \dots \dots \text{ecuación 3}$$

Dónde:

$$\hat{p}_1 = \frac{x_1}{n_1} = 1991/28560 = 0.06971$$

$$\hat{p}_2 = \frac{x_2}{n_2} = 575/28560 = 0.020133$$

$$\hat{p} = \text{Estimador del parámetro}$$

n_1 = Tiempo total de operación antes de aplicar MA.

n_2 = Tiempo total de operación después de aplicar MA.

El valor del estadístico de prueba para las actividades de mantenimiento es:

$$z_0 = \frac{0.06971 - 0.020133}{\sqrt{0.04492(1 - 0.04492) \left(\frac{1}{28560} + \frac{1}{28560} \right)}} = 28.6032$$

- Aceptar o rechazar la hipótesis nula. Para aceptar o rechazar la hipótesis nula se tiene que realizar la siguiente comparación:

$$\text{Rechazar } H_0: x_1=575 \quad \text{sí } z_0 > z_{\alpha/2} \quad \text{o sí } z_0 < z_{-\alpha/2}$$

Sustituyendo los valores del estadístico de prueba (z_0) y el valor de la región crítica ($z_{\alpha/2}$) se tiene:

$$28.6032 > 2.58$$

Se puede concluir, con la desigualdad anterior, que la hipótesis nula se debe rechazar. Esto es, con un nivel de confianza del 99%, se tiene evidencia suficiente que permite concluir que el tiempo total de paro por actividades de mantenimiento antes de aplicar MA es mayor.

Para la realización de la prueba de hipótesis sobre el tiempo total de paro por cambio en el juego de bocas, ajuste en el juego de bocas y ajuste de las guías se utilizó la metodología de esta sección; los resultados

obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Causas de paro	Estimador del parámetro	Región de rechazo $\alpha=0.01$	Estadístico de prueba	Decisión
Ajuste de las guías	0.0349	± 2.5800	34.2330	Rechazar
Cambio bocas	0.0301	± 2.5800	5.1039	Rechazar
Ajuste bocas	0.0103	± 2.5800	5.2882	Rechazar

Tabla 3. Pruebas de hipótesis: comparación del tiempo total de paro

6. Conclusiones

La implantación del MA resultó ser una gran ayuda para la solución de los problemas encontrados en el área de forja de la empresa metal-mecánica: tiempos de paro repetidos y prolongados debidos a fallas y averías; por consiguiente esta empresa logró grandes beneficios: aumento en su producción, y ahorro en los costos de mantenimiento con una inversión mínima.

Es importante mencionar que las pruebas de hipótesis fueron de gran ayuda para validar que los resultados obtenidos de la aplicación del MA produjeron un cambio significativo y favorable en esta empresa. Estas pruebas permitieron evidenciar que se disminuyeron las principales problemáticas encontradas durante el diagnóstico:

- Tiempo de paro por cambio del juego de bocas.
- Tiempo de paro por ajuste en el juego de bocas.
- Tiempo de paro por actividades de mantenimiento.
- Tiempo de paro por ajuste en las guías.

7. Bibliografía

Montgomery, Douglas C., Probabilidad y Estadística para Ingeniería, Editorial Continental, 1999.

Myers, Raymond H., Probabilidad y Estadística para Ingeniería, Editorial Prentice-Hall, 1999.

Shirose, Kunio, TPM para operarios, Editorial Productivity, 1992.

Suzuki, Tokutaro, TPM en las industrias de proceso, Editorial Productivity Press, 1995.