



## Aplicación de mantenimiento autónomo para reducir el número de paros en una empresa metal-mecánica

**M. C. Fernando Ortiz Flores**  
[ferchilo@prodigy.net.mx](mailto:ferchilo@prodigy.net.mx)

*Instituto Tecnológico de Orizaba  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Orizaba, Veracruz, México*

**M.I. Jesús Guillermo Vilchis Santos**  
[memo\\_vilchis@hotmail.com](mailto:memo_vilchis@hotmail.com)

**M.E. Ana María Alvarado Lassmann**  
[lassmann@prodigy.net.mx](mailto:lassmann@prodigy.net.mx)

**Dr. Oscar Báez Senties**  
[obaez70@yahoo.com.mx](mailto:obaez70@yahoo.com.mx)

**M.C. Modesto Raygoza Bello**  
[mraygozabello@yahoo.com.mx](mailto:mraygozabello@yahoo.com.mx)

### Resumen

En el presente trabajo se desea mostrar cómo se aplicó la herramienta de ingeniería industrial denominada Mantenimiento Autónomo<sup>1</sup> en el área productiva de forja de una empresa metal-mecánica<sup>2</sup> ubicada en la región centro de Veracruz que se dedica a la fabricación de productos para jardinería y construcción, debido a que esta área presentó el mayor tiempo de paro durante el periodo de análisis<sup>3</sup>. Se expone cómo fue analizado el proceso de producción del área de forja de la empresa mediante pláticas con el gerente de planta, el diseño y la aplicación de una encuesta, la realización de recorridos y la toma de datos. Los resultados de este análisis dieron origen al desarrollo de una metodología para la implantación del MA con la finalidad de disminuir el número de paros repetidos y prolongados. Los resultados indican el número de paros y la duración de los mismos, antes y después de aplicar esta herramienta. Estos resultados son validados mediante dos pruebas de hipótesis.

**Palabras clave:** Mantenimiento autónomo, disminución de paros.

### Introducción

En la actualidad las empresas manufactureras y de servicios se encuentran sometidas a la enorme presión de entregar productos con calidad en el menor tiempo posible. Sin embargo, si las empresas dentro de su proceso de producción presentan problemas críticos, entonces es difícil que puedan competir en el mercado actual. Por esta razón las empresas deben hacer uso de herramientas y filosofías que les permitan obtener mejoras significativas en su proceso de producción, tal como lo es el uso del Mantenimiento Autónomo (MA).

<sup>1</sup> En inglés se conoce como *Autonomous Maintenance*

<sup>2</sup> Por confidencialidad no se menciona el nombre de la empresa

<sup>3</sup> Febrero de 2009



El MA, pilar fundamental del TPM<sup>4</sup>, es el modo principal con el que el departamento de producción participa para mejorar el proceso de producción de una empresa. La limpieza, inspecciones y los ajustes son realizados por los operarios sistemáticamente entrenados a través de un programa paso a paso.

La implantación del MA permite detectar y tratar con prontitud las anomalías del equipo, logrando varios beneficios: evitar el deterioro del equipo a través de una operación correcta y chequeos diarios, llevar el equipo a su estado ideal a través de su restauración y una gestión apropiada y, establecer las condiciones básicas necesarias para tener el equipo en buen estado permanentemente.

En este artículo se describe el caso de una empresa que utilizó MA para disminuir problemas en su proceso de producción: demasiados paros prolongados por fallas y averías en su área de forja que ocasionaban costos elevados de mantenimiento y problemas en la entrega de pedidos.

### **Metodología para reducir los tiempos de paro por fallas y averías**

Para el éxito de la aplicación del MA en la empresa en estudio se utilizó la siguiente metodología:

- A. Determinar la situación actual de la empresa.
- B. Obtener apoyo por parte de la empresa.
- C. Sensibilizar e involucrar al personal hacia el cambio.
- D. Capacitar en MA.
- E. Aplicar paso a paso la metodología del MA.

### **Determinar la situación actual de la empresa**

Con la finalidad de conocer la situación actual de la empresa se realizó durante el mes de Febrero de 2009, un diagnóstico de sus áreas operativas: forja, rectificado, picado y temple; para obtener información sobre:

- Número de paros ocurridos por área durante este periodo.
- Factores que ocasionaron dichos paros.
- Forma de trabajar de los operarios.

El procedimiento utilizado para este diagnóstico fue:

1. Obtención de un panorama general de la empresa.
2. Realización de recorridos y toma de datos.
3. Descripción de la situación problemática y determinación de área de oportunidad.

### **Obtención de un panorama general de la empresa**

Para obtener un panorama general de la empresa se realizaron las siguientes actividades:

- Se sostuvieron pláticas con el gerente de la empresa para tener un panorama general de ésta, y detectar el (las) posible(s) área(s) de oportunidad para el desarrollo del presente proyecto.
- Se concluyó de estas pláticas que el gerente tenía una problemática relacionada con mantenimiento en el área productiva: forja, rectificado, picado y temple.
- Se diseñó una encuesta con la finalidad de detectar posibles problemáticas, corroborar la percepción del gerente y detectar posibles causas que dieran origen a las

<sup>4</sup> Mantenimiento total productivo por sus siglas en inglés de *Total Productive Maintenance*



problemáticas detectadas. Las preguntas de esta encuesta y el objetivo de cada una de ellas se describen a continuación:

- ¿Cuándo ingresó a la empresa recibió algún tipo de capacitación y/o curso?  
La finalidad de esta pregunta fue conocer si los trabajadores al ingresar a la empresa recibieron algún tipo de capacitación y/o curso, además, si la recibieron de qué tipo fue.
  - Si es que recibió el curso y/o capacitación, ¿Le ayudo a adaptarse a su área de trabajo?  
Esta pregunta fue para saber si la capacitación y/o curso recibido había ayudado al trabajador a adaptarse a su área.
  - ¿Has asistido recientemente a algún curso de capacitación?  
Esta pregunta fue para saber si los operarios se capacitan constantemente tanto es aspectos de su maquinaria, como en cursos de actualidad.
  - ¿Participas en la limpieza de tu maquinaria? y ¿Con qué frecuencia realizas limpieza?  
Estas preguntas se hicieron para determinar si los operarios participaban en la limpieza de su maquinaria y la importancia que tenía ésta en el funcionamiento de la misma.
  - ¿Participas en el mantenimiento de tu maquinaria?  
Esta pregunta fue para determinar si los operarios participaban en el mantenimiento de su maquinaria y la importancia que tiene éste en el funcionamiento de la misma.
  - ¿Tienes comunicación frecuente con el departamento de mantenimiento para informarles el estado de la maquinaria?  
Esta pregunta fue para determinar si el departamento de mantenimiento y producción trabajaban en equipo o de manera aislada.
  - ¿Realizas supervisiones periódicas a tu maquinaria con el fin de encontrar posibles anomalías?  
Esta pregunta fue para saber si los trabajadores realizaban inspecciones a su equipo o si tenían la cultura del mantenimiento autónomo.
  - ¿Qué tipo de mantenimiento realiza el departamento de mantenimiento?  
Esta pregunta fue para saber la manera en la cual trabajaba el departamento de mantenimiento dentro de la empresa.
- Se aplicó la encuesta a un grupo de 30 personas formado por personal de las áreas productivas en análisis: forja, rectificado, picado y temple.
  - Se analizaron los resultados obtenidos de la encuesta.

### **Realización de recorridos y toma de datos**

Con la finalidad de determinar el área de oportunidad se realizaron las siguientes actividades:

- Recorridos.  
Para realizar esta actividad se realizaron varias visitas a las diversas áreas de trabajo bajo análisis: forja, rectificado, picado y temple; estas visitas se realizaron durante el turno matutino y vespertino. Por cuestiones de tiempo no se pudieron llevar a cabo visitas durante el turno nocturno.
- Toma de datos.  
En esta actividad se midió, durante 7 horas de operación de cada turno de trabajo<sup>5</sup> en el periodo del 1 al 28 de febrero del 2009, el número de paros presentados durante el mes de febrero por área de trabajo, los tiempos de paro debidos a preparación y/o ajustes y los tiempos debidos a averías; también se analizó la relación entre los tiempos de paro y la producción.

<sup>5</sup> La empresa trabaja 3 turnos de lunes a viernes, sábado 1 turno y 2 horas el domingo (28560 minutos durante el periodo de observación).



Los resultados obtenidos de los recorridos y la toma de datos se muestran en tres tablas. En la tabla 1 se muestra el número de paros en cada área de trabajo ocurridos durante el mes de Febrero de 2009; en la tabla 2 se indican los tiempos promedio de paro en minutos debidos a preparación y/o ajustes, los tiempos de paro debidos a fallas mecánicas y los tiempos debidos a falta de material<sup>6</sup>; y en la tabla 3 mostramos el tiempo total de paro en minutos por cada área de trabajo durante el periodo de observación.

Tabla 1. Número de paros ocurridos en la maquinaria en la empresa.

Área de trabajo	No. de paros registradas durante el periodo Febrero de 2009
Forja	67
Rectificado	102
Picado	57
Temple	31

### Descripción de la situación problemática y determinación del área de oportunidad

Con los resultados obtenidos de las pláticas, el diseño y aplicación de la encuesta, los recorridos y la toma de datos, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Se analizaron las problemáticas detectadas.
- Se realizó una primera junta con el gerente de planta, en la cual se hizo hincapié en las ventajas de implementar Mantenimiento Autónomo y las 5'S.
- Se determinó que el área con el mayor tiempo de paro, según la tabla 3, es la de forja.
- Se identificaron los principales problemas que inciden al área de forja.
- Se determinó por medio del análisis de la tabla 4<sup>7</sup> cuál de las actividades generaba el mayor tiempo de paro. Para visualizar mejor este análisis se realizó la figura 1, en la que se observa que las actividades de mantenimiento son las que generaban el mayor tiempo de paro durante el periodo de observación: 1980 minutos/mes.

El área de forja es de vital importancia para el proceso de producción, ya que si ésta área productiva presenta un paro por cualquier razón, se detienen las áreas restantes: rectificado, picado y temple, a las que les suministra de materia prima (limas triangulares), ocasionando costos mayores para el proceso. Por ésta razón se determinó que se tratarían de minimizar los tiempos de paro en el área de forja y al mismo tiempo se tratará de integrar al personal a un programa de MA.

<sup>6</sup> Se contabilizó el tiempo total de paro para verificar si había una correspondencia entre el número de paros (Tabla 1) y la duración total del paro en cada área (Tabla 3). La verificación mostró que no en todos los casos se cumplió que a mayor número de paros mayor duración.

<sup>7</sup> Esta tabla es un resumen de la tabla 2



Tabla 2. Causas de paro repetidos y prolongados por área de trabajo y tiempos promedio por mes.

Área de trabajo	Causa del paro repetido o prolongado	Número de veces en el periodo	Minutos por máquina promedio	Total minutos
<b>Forja</b>	Cambio de bocas	23	42.00	966
	Ajuste de bocas	30	11.00	330
	Cambio de referencia de la guía	1	21.00	21
	Cambio de referencia por tamaño	2	61.00	122
	Ajuste de las guías	6	291.83	1728
	Actividades de mantenimiento	5	398.20	1980
<b>Rectificado</b>	Actividades de mantenimiento	48	3.30	158
	Cambio de copias	24	4.10	98
	Ajuste de montaje	24	7.49	180
	cambio de muela	1	30.00	30
	Fallos mecánicos	2	200.00	400
	Falta de material	3	480.00	1440
<b>Picado</b>	cambio de referencia	4	70.00	280
	Ajuste de cuchillas	24	5.00	120
	Ajuste de moldes	24	5.00	120
	Falla mecánica	3	120.00	360
	Falta de material	2	300.00	600
<b>Temple</b>	% de cianuro	24	10.00	240
	Checar nivel de agua	24	0.50	12
	Falla mecánica	5	30.00	150
	Falta de material	2	200.00	400
Total minutos				9769.56

Tabla 3. Tiempo de paro en minutos por área de trabajo.

Área	Tiempo en minutos
<b>Forja</b>	5147
<b>Rectificado</b>	2307
<b>Picado</b>	1480
<b>Temple</b>	802



Tabla 4. Actividades y tiempos de paro repetidos y prolongados (min).

Causas de paro	No, de veces	Tiempo promedio general (TPG) (min)	Tiempo total de paro de la actividad (min)
<b>Ajuste bocas</b>	30	11	330
<b>Cambio bocas</b>	23	42	966
<b>Cambio referencia de la guía</b>	1	21	21
<b>Cambio referencia por tamaño</b>	2	61	122
<b>Ajuste de las guías</b>	6	288	1728
<b>Actividades de mantenimiento</b>	5	396	1980
Tiempo Total de paro en el periodo de observación			5147

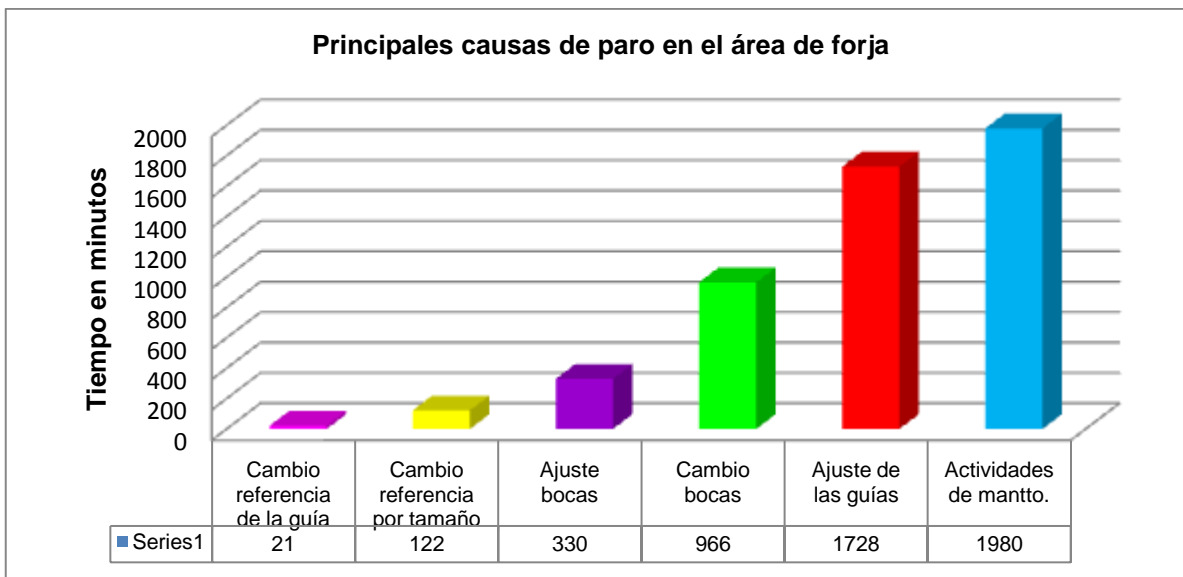


Figura 1. Representación de la duración de las principales causas de paro en el área de forja.

### Obtener apoyo por parte de la empresa

Para lograr el apoyo de la empresa se presentaron fotos que mostraban las condiciones en las que se encontraba la empresa al gerente de planta, gerente de calidad, jefe de turno, personal de mantenimiento y operarios. Así mismo se les explicó cuáles serían los beneficios y cambios que obtendría la empresa si se implantara MA.<sup>8</sup> Los apoyos obtenidos fueron los siguientes:

- Apoyo económico: la empresa aportó el recurso económico necesario para realizar las modificaciones que se propusieron a partir de la implantación del MA.
- Involucramiento: Se obtuvo el permiso para tener pláticas con el personal operativo del área de forja.
- Apoyo personal: La empresa facilitó toda la información del proceso de forja, actividades y datos propiedad de la empresa.

<sup>8</sup> La presentación de fotos y la explicación de los beneficios del MA se llevó a cabo durante 4 reuniones de trabajo de 1 hora cada una.



Para visualizar cual de las actividades generaba mayor tiempo de paro se realizó la figura 1 en función de los tiempos ascendentes. En esta figura se observa que las actividades de mantenimiento son las que generaban mayor tiempo de paro: 1980 minutos/mes.

### **Sensibilizar e involucrar al personal hacia el cambio**

Para combatir la resistencia al cambio de algunos operarios se realizó lo siguiente:

1. Se entregaron folletos y material impreso que trataban aspectos relacionados con el MA.
2. Se mostraron imágenes de lo que no debe existir en una empresa.
3. Se proyectaron videos sobre limpieza, mantenimiento a la maquinaria, trabajo en equipo y "Virus de la actitud". Este último video permitió que los operarios analizaran sus conductas y actitudes hacia el trabajo.

Después de haber visto los videos y tener pláticas con los trabajadores, la mayoría opinó estar dispuesto a intentar un cambio en la manera de realizar sus tareas, si éstas ayudaban a mejorar el desempeño de su trabajo.

### **Capacitar en MA**

Para llevar a cabo este paso de la metodología se impartieron cursos de capacitación 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.

La capacitación que se impartió se enfocó en cómo aplicar el MA utilizando los 7 pasos que propone Shirose (1994):

- Paso 1. Limpieza inicial. En este paso se pone en práctica el lema "limpieza es inspección" y se instruye a los operarios a que utilicen los 5 sentidos, si es necesario, para descubrir holguras, desgastes, vibraciones, calentamientos, fugas y ruido.
- Paso 2. Eliminar fuentes de contaminación y áreas inaccesibles. En este paso se debe eliminar la contaminación y fugas de lubricante mediante reparaciones e intentar hacer accesibles todos los lugares de limpieza.
- Paso 3. Creación de estándares de limpieza y lubricación. En este paso se decide que partes del equipo necesitan limpieza diaria, los procedimientos a seguir, cómo inspeccionar el equipo y cómo juzgar anomalías.
- Paso 4. Inspección general. En este paso los operarios reciben instrucción básica sobre la estructura, funciones, ajustes apropiados del equipo mediante controles visuales, uso de su equipo y puntos a revisar diariamente.
- Paso 5. Inspección autónoma. En este paso los operarios participan en la reparación de las averías con el personal de mantenimiento y dividen los elementos a inspeccionar en 2 tipos: elementos que pueden ser inspeccionados de manera autónoma por operarios y elementos que requieren ser inspeccionados por especialistas de mantenimiento para evitar omisiones.
- Paso 6. Organización y orden del lugar de trabajo. En este paso los operarios participan en la eliminación de objetos innecesarios que entorpecen las áreas de trabajo y en la organización de todo lo que queda.
- Paso 7. Programa de mantenimiento autónomo. En este paso los operarios junto con el personal de mantenimiento proponen mejoras que ayuden a incrementar la vida útil y la eficacia del equipo.



## Aplicar paso a paso la metodología del MA

La prueba piloto que se llevó a cabo consistió en aplicar los 7 pasos de la metodología del MA (Shirose, 1992) con la finalidad de incrementar el tiempo disponible de la maquinaria y disminuir los fallos mecánicos. Las actividades realizadas en cada uno de los 7 pasos para implantar MA se describen a continuación:

### Paso 1: Limpieza inicial

Para llevar a cabo la limpieza inicial del equipo fue necesario realizar 4 actividades:

- Eliminar el polvo, la suciedad y los residuos.
- Descubrir todas las anormalidades.
- Corregir pequeñas deficiencias y establecer las condiciones básicas del equipo.
- Descubrir puntos peligrosos y formas de prevenir accidentes.

Para eliminar polvo, suciedad y residuos, se realizó una limpieza profunda en todas las partes del equipo, todo esto con la finalidad de motivar a los operarios y generar un interés en ellos por su equipo para que ya no permitan que éste se ensucie de nuevo.

Cabe mencionar que se recomendó a todo el personal limpiar profundamente para tener un lugar visible, libre de todas las fuentes de contaminación existentes (figura 2); todo esto con la finalidad de que al terminar surgieran cuestiones como:

- ¿Afecta en el funcionamiento del equipo la suciedad?
- ¿Qué sucede si una parte tiene alguna fisura o está deteriorada?
- ¿En que afectan al equipo las fugas en el sistema de lubricación?
- ¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación?

Para identificar todo aquello que puede generar un problema futuro en la maquinaria se proporcionaron indicaciones, se motivó y se instruyó a los operarios para que descubrieran todas las anormalidades: fisuras, defectos, deficiencias, desorden, pequeñas irregularidades y fallas; mediante el uso de tres tarjetas:

- Blancas para los operarios (figura 3).
- Verdes para los preparadores y auxiliares.
- Rojas para el departamento de mantenimiento.



Figura 2. Eliminación de fuentes de contaminación.



TPM  
Mantenimiento autónomo

Logo de la empresa Tarjeta para detección de anomalías

Área \_\_\_\_\_

Equipo \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

tipo de anomalía:

Deficiencia	<input type="checkbox"/>
Fisura	<input type="checkbox"/>
Fuga	<input type="checkbox"/>
Falla	<input type="checkbox"/>

Descripción de la anomalía:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Posibles causas:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 3. Tarjeta para detección de anomalías

Cada una de estas tarjetas indica la fecha, una descripción de la anomalía detectada, nombre del operario que la encontró y las posibles causas de la misma.

El descubrimiento de las anomalías se llevó a cabo durante varias sesiones, ya que en un principio los operarios no asimilaban la importancia de la ausencia de anomalías dentro del equipo. Después de llevar a cabo esta labor, algunos de ellos se realizaron cuestionamientos sobre:

- ¿Qué problema ocurre si se degüella un tornillo?
- ¿Qué ocurre si el sistema de lubricación deja de funcionar?
- ¿Qué ocurre si algún prisionero del porta-boca se fisura?

Con la finalidad de establecer las condiciones básicas del equipo: exento de fugas, vibración y con una adecuada lubricación. Se corrigieron pequeñas deficiencias con la finalidad prevenir el deterioro de éste mediante las siguientes actividades de mantenimiento autónomo por parte de los operarios:

- Corrección de pequeñas deficiencias encontradas en la maquinaria:
  - Mangueras con fugas
  - Juego excesivo en ejes, dados, bulones y guías.
  - Barrido de las cuerdas de los prisioneros de los porta bocas.



- Verificación del sistema de lubricación.  
Durante la verificación al sistema de lubricación se realizó una inspección al funcionamiento de este sistema para determinar si trabajaba de manera adecuada con la finalidad de prevenir desgaste y quemaduras. Se pudo apreciar durante el desarrollo de estas tareas que muchos operarios no sabían la importancia de la lubricación para la maquinaria.
- Revisión del apretado de pernos, tuercas y tornillos  
Al inicio de la revisión del apretado de tuercas y tornillos se hizo hincapié de la importancia que tienen éstos en la construcción de una máquina, y que es fundamental que se encuentren debidamente apretados para evitar vibraciones (juego) que generen desgaste, fisuras o averías. Para evitar vibraciones en la maquinaria se establecieron las condiciones básicas del equipo mediante las siguientes actividades:
  - Apretar pernos y tuercas flojas.
  - Reemplazar tornillos y tuercas faltantes (figura 4).
  - Reemplazar tornillos y tuercas degollados.



Figura 4. Apretado de pernas y tuercas.

Para prevenir accidentes se llevaron a cabo inspecciones con la finalidad de descubrir y neutralizar todas las fuentes de peligro: cables pelados y piezas mal sujetadas; la realización de estas inspecciones permitió encontrar cables eléctricos dañados (Figura 5) y tornillos con fisuras que podrían provocar un accidente; el reemplazo de éstos permitió crear un lugar de trabajo seguro, limpio y grato.

### **Paso 2: Eliminar fuentes de contaminación y lugares inaccesibles**

Para reducir los tiempos de limpieza, chequeos y lubricación, fue necesario eliminar las fuentes de contaminación y lugares inaccesibles. Así mismo, se tuvo que motivar a los operarios a que aplicaran su imaginación y creatividad al efectuar las siguientes actividades:

- Eliminar las fuentes de fugas y derrames.  
Para eliminar las fuentes de fugas y derrames del sistema de lubricación, que impedían la revisión de las condiciones de pernos, tuercas y que además deterioraban el entorno de trabajo y la calidad del producto, se analizaron dos cuestionamientos con los operarios:
  - ¿Cómo y dónde se generan las fugas?



- ¿Qué técnicas y materiales para el sellado del sistema de lubricación se pueden utilizar?



Figura 5. Fuentes de peligro (Anomalía en la alimentación eléctrica).

Después de analizar estos cuestionamientos, se les asignaron a los operarios las siguientes actividades:

- Descubrir la naturaleza de la contaminación, cómo y en dónde se genera.
- Recolectar datos sobre las fugas y derrames.
- Considerar el uso de nuevas técnicas y materiales para sellado del sistema de lubricación.
- Mejorar accesibilidad para reducir el tiempo de trabajo.  
Con la finalidad de reducir los tiempos dedicados a la limpieza e inspecciones del equipo fue necesario hacer más accesibles los lugares que eran difíciles de limpiar. Para mejorar la accesibilidad se realizaron las siguientes actividades:
  - Modificación en la longitud de algunas de las mangueras.
  - La adecuación y la organización de algunos de los cables de suministro eléctrico.
 La realización de estas actividades permitió:
  - Obtener lugares más accesibles.
  - Disminuir el tiempo empleado en las revisiones y la limpieza del equipo.

### **Paso 3: Creación de estándares de limpieza y lubricación**

Con el objetivo de mantener los logros obtenidos en los pasos 1 y 2 de la metodología del MA, para mantener las condiciones básicas del equipo, en este paso los operarios determinaron:

1. Que a una parte de la máquina denominada juego de bocas se le daría limpieza diaria y durante ésta se realizarían chequeos a los tornillos, tuercas y prisioneros en busca de anomalías.



2. Que la limpieza exterior de la maquinaria, tal como mangueras y conexiones, se realizaría una vez a la semana al finalizar el turno.
3. Que debido a que una de las causas de avería era inevitable: cascarilla y residuos que caían en los porta bocas; éstas debían rediseñarse colocándoles unas guardas.
4. Que la retirada de lubricante sucio se realizaría en un contenedor, separando los restos de lima (escoria) y el aceite lubricante.

Con estas actividades se logró que los operarios realizaran sus tareas de limpieza y lubricación de manera más fácil. La figura 6a muestra las condiciones en las que se encontraban los porta boca 4 y 5, antes de realizar la adecuación, y la figura 6b muestra los resultados de realizar la adecuación: colocación de guardas en los porta boca 4 y 5.

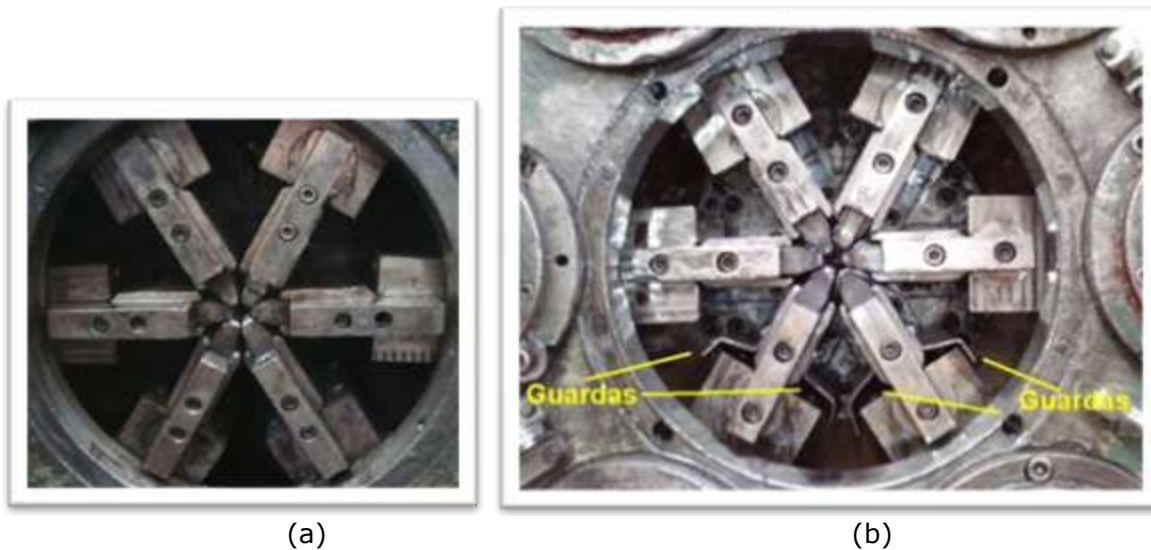


Figura 6. (a) Juego de portaboca de la máquina forjadora antes de realizar la adecuación en los porta boca 4 y 5. (b) Juego de portaboca de la máquina forjadora después de colocar las guardas en los porta boca 4 y 5

#### **Paso 4: Inspección general**

Para que los operarios pudieran realizar inspecciones generales sobre las condiciones del equipo, fue necesario que recibieran una capacitación teórico-práctica sobre cómo realizar una adecuada lubricación y los ajustes necesarios, por ejemplo, el apretado de tuercas y prisioneros, y el ajuste y cambio de bocas. Esta capacitación se llevó a cabo en 2 etapas:

- Presentación sobre los ajustes básicos del equipo mediante imágenes que muestran los pasos y las condiciones necesarias para realizar un ajuste.
- Realización de ajustes por parte de los operarios auxiliándose de controles visuales para facilitar la realización de éstos y evitar errores.

#### **Paso 5: Inspección autónoma**

Para llevar a cabo la inspección autónoma los operarios han realizado diversas actividades:

- Chequeos a las condiciones de prisioneros y tornillos de los porta bocas durante el cambio del juego de bocas.
- Chequeos a las mangueras (Figura 7) y conexiones durante la limpieza exterior (Figura 8).





Figura 7. Limpieza e inspección de las condiciones de las mangueras.

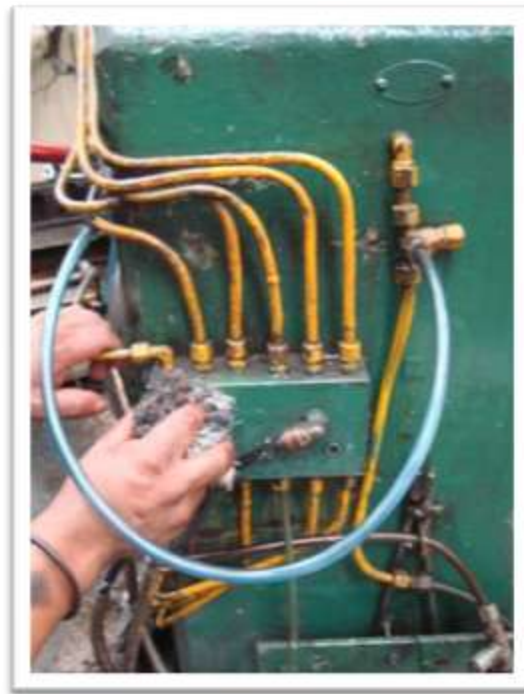


Figura 8. Limpieza e inspección del estado de las conexiones.

Para asegurar que se realizaran chequeos a las condiciones de prisioneros y tornillos de los porta boca sin afectar el tiempo promedio del ajuste o cambio del juego de bocas, se elaboró la tarjeta que se muestra en la figura 9. Esta tarjeta indica el número de máquina forjadora, la fecha, la actividad realizada en las bocas (ajuste o cambio) y la altura a la cual fueron colocadas. Con el llenado de la tabla se evitó medir la altura de las bocas nuevamente al realizar el ajuste o cambio, ya que los operarios sólo consultaban ésta. El tiempo ahorrado se empleó para llevar a cabo los chequeos.

Cabe mencionar que los operarios no habían participado en actividades de mantenimiento mayor a algunas partes de la maquinaria: ajuste de guías, cambio de dados o cambio de bulones, debido a que éstas no se presentaron durante el desarrollo del proyecto. Por lo tanto



no se determinaron los elementos que los operarios podían inspeccionar y los que no, con la finalidad de evitar que esa avería se produzca nuevamente.


IBS- 602 No. 105 MANTENIMIENTO AUTONOMO REDUCCIÓN DE TIEMPOS	Bellota Mexico S.A. de C.V.				
	Célula de forja				
	Cambio y/o ajuste de las bocas				
	No. de boca	Fecha		Ajuste	Cambio
	1	--	--		
	2	--	--		
	3	--	--		
	4	--	--		
	5	--	--		
	6	--	--		

Figura 9. Tarjeta utilizada para reducción de tiempos en el ajuste y/o cambio de las bocas.

### Paso 6: Organización y orden del lugar de trabajo.

Para organizar y ordenar el área de trabajo los operarios realizaron diversas actividades tratando de eliminar elementos y piezas innecesarias que entorpecían las áreas de trabajo:

- Organizar la herramienta de uso frecuente tal como vernier, pinzas, llaves y martillos.
- Ordenar la herramienta de modo que pueda localizarse rápidamente, ocupen el mínimo espacio posible y puedan moverse fácilmente.
- Colocar las guías de referencia del perfil en un lugar que no estorbara a las labores.
- Colocar los repuestos de las bocas en un lugar accesible y que no estorbara a otras actividades.
- Guardar herramienta que no se ocupaba frecuentemente: desarmadores y arco con segueta.
- Adecuar la mesa de trabajo para optimizar su uso.

Como parte de las mejoras realizadas a la organización de las pinzas, que ocupan los operarios para sujetar los perfiles durante el proceso de forja del espigo, se colocaron unas arandelas a un costado de las bandas transportadoras que alimentan a las máquinas forjadoras para que en éstas los operarios coloquen las pinzas de diferentes medidas y grosores de acuerdo al tipo de perfil que se esté manipulando (Figura 10). También se colocaron unos tubos sujetadores bajo la misma cadena para colocar las referencias de perfil (Figura 11).

### Paso 7: Programa de mantenimiento autónomo

Para la elaboración del programa de mantenimiento autónomo se realizaron reuniones con los operarios, preparadores del área, personal de mantenimiento, gerente de calidad y gerente de planta, y así poder analizar los principales actividades que generaban paros repetidos y prolongados: actividades de mantenimiento, ajuste de las guías, cambio en el juego de bocas y ajuste en el juego de bocas.

Después del análisis de las actividades mencionadas se propusieron mejoras a la realización de la limpieza, se determinaron los periodos de chequeos con base en la edad del equipo, nivel de uso y distribución de fallas; y se propusieron adecuaciones a algunas partes de la maquinaria que podrían ayudar a incrementar la vida útil y la eficacia de ésta. Como resultado de estas propuestas se diseñó el calendario de actividades de mantenimiento autónomo para los operarios que se muestra en la tabla 5.





Figura 10. Mejoras realizadas a la organización de las pinzas.



Figura 11. Mejoras realizadas a la organización de las referencias utilizadas en el proceso de forja del espigo

Tabla 5. Actividades de mantenimiento y frecuencia de realización.

Actividad	Frecuencia de mantenimiento
Revisión de dados, bulones y guías (Desgaste) Revisión de tornillos y prisioneros.	1 vez cada 3 semanas a partir del último ajuste de las guías.
Revisión de guardas y cuerdas.	1 vez cada 3 semanas a partir del último ajuste de las guías.
Revisión del sistema de lubricación.	Al inicio de cada turno
Revisión del nivel de aceite.	Al inicio de cada turno
Revisión del estado de las mangueras y conexiones.	Al inicio de cada turno
Revisión de las condiciones de tornillos y prisioneros.	Durante la realización de un ajuste
Observar las condiciones de los clamp's y pernos localizadores.	Durante la realización de un ajuste
Limpieza total de la maquinaria.	1 vez cada semana al finalizar turno.



## Resultados

Para evaluar los resultados de la aplicación de la prueba piloto se realizaron las siguientes actividades:

- Medición de los tiempos de paro repetidos y prolongados después de la aplicación de la prueba piloto.
- Obtención del tiempo medio entre fallas antes y después de la aplicación de la prueba piloto.
- Obtención de la disponibilidad de la maquinaria antes y después de la aplicación de la prueba piloto.
- Validación de los resultados mediante pruebas de hipótesis.

### Medición de los tiempos de paro repetidos y prolongados después de la aplicación de la prueba piloto

Para tener una idea clara sobre la duración de los tiempos de paro después de la aplicación de la prueba piloto se realizaron mediciones de la duración de éstos en las siguientes actividades:

- Cambio del juego de bocas.
- Ajuste en el juego de bocas.
- Actividades de mantenimiento.
- Ajuste de las guías.
- Cambio de referencia de la guía del perfil.
- Cambio de referencia por tamaño del perfil.

La tabla 6 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. La gráfica de la figura 12 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.

Tabla 6. Tiempos de paro de cada actividad durante el periodo de observación

Causas de paro	No, de veces	Tiempo promedio general (TPG)	Tiempo total de paro de la actividad durante el periodo de observación
Cambio bocas	19	39.86	757.34
Ajuste bocas	24	9.67	232.08
Actividades de mantenimiento	2	287.95	575.00
Ajuste de las guías	1	247.60	247.60
Cambio referencia de la guía	0	0.00	0.00
Cambio referencia por tamaño	2	57.75	115.50
<b>Tiempo total de paro en el periodo de observación (TTPP)</b>			<b>1927.50</b>



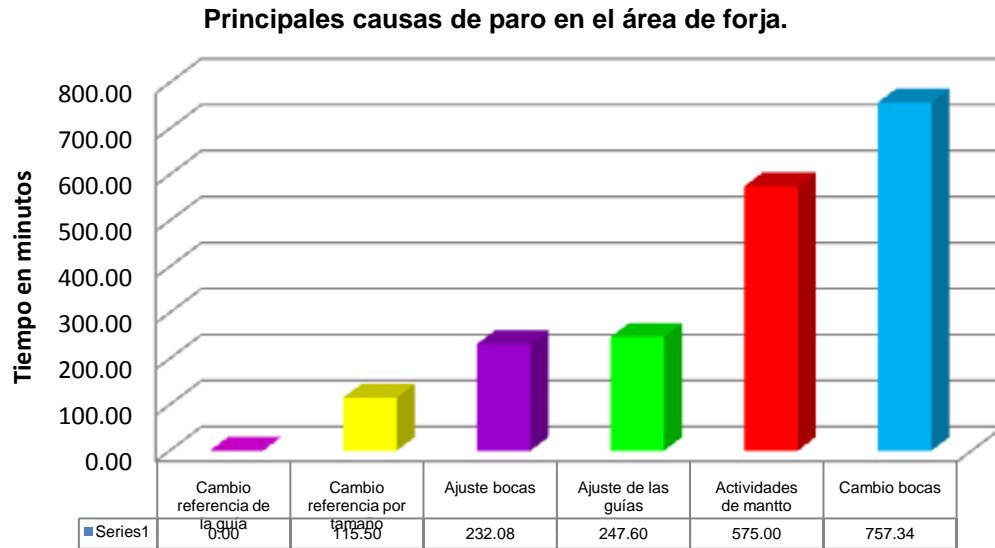


Figura 12. Representación de la duración de las principales causas de paro en el área de forja.

La implantación del MA, mediante la participación de los operarios en la detección de anomalías en el equipo y la realización de actividades de mantenimiento, permitió reducir los tiempos de paro repetidos y prolongados en el área de forja de la empresa en un 63%, ya que se redujo el tiempo de paro de 5147.0 minutos/mes (Tabla 4) a 1927.5 minutos/mes (Tabla 6). Con esto se logró el objetivo principal: incrementar el tiempo disponible de la maquinaria.

**Obtención del tiempo medio entre fallas antes y después de la aplicación de la prueba piloto**

Para evaluar los resultados de la aplicación de la prueba piloto se empleó el tiempo medio entre fallas MTFB<sup>9</sup>, es decir, el tiempo medio promedio que un equipo, máquina o planta cumple su función sin interrupción debido a una falla funcional o ajuste.

Para obtener el tiempo medio entre fallos por cada actividad que generó tiempos de paro repetidos y prolongados se realizó lo siguiente:

- Calcular el tiempo total de operación durante los periodos de observación: antes y después de la aplicación de la prueba piloto. Para obtener este tiempo sólo se tomaron en cuenta 7 horas de operación por cada turno de trabajo durante estos periodos.
- Contabilizar el número total de fallas durante los periodos de observación, que ocasionaron paros por:
  - Cambio del juego de bocas
  - Ajuste en el juego de las bocas
  - Actividades de mantenimiento.
  - Ajuste de las guías.
- Obtener el tiempo medio entre fallas mediante la ecuación 1:

$$TMF = \frac{TTO}{F} \dots \dots \dots \text{ecuación 1}$$

<sup>9</sup> De las siglas en inglés de *Mean Time Between Failures*.



Dónde:

$TMF$  = Tiempo medio entre fallos.

$TTO$  = Tiempo Total de operación.

$F$  = Número total de fallas que generaron un cambio en las bocas.

### Tiempo medio entre fallas antes de la aplicación de la prueba piloto

Para obtener el tiempo medio entre fallas antes de aplicar la prueba piloto se calculó el tiempo total de operación y se contabilizó el número de fallas por cada actividad que ocasionó paros por cambios del juego de bocas, ajuste en el juego de las bocas, actividades de mantenimiento y ajuste de las guías. La tabla 7 muestra el número de fallas que ocasionaron paros y el tiempo de total de operación durante el periodo de observación: del 1 al 28 de Febrero de 2009.

Tabla 7. Tiempo total de operación y número de fallos antes de aplicar la metodología del MA.

Actividad	Número de veces
Cambio de bocas	23
Ajuste de bocas	30
Actividades de mantenimiento	5
Ajuste de las guías	6

**Nota:**

- **Periodo de operación: 1 al 28 de Febrero de 2009**
- **Tiempo de total operación en minutos: 28560**

Sustituyendo la información de la tabla 4 en la ecuación 1 se obtiene:

$$TMF \text{ cambio de bocas} = \frac{28560}{23} = 1241.7 \text{ minutos}$$

$$TMF \text{ ajuste en el juego de bocas} = \frac{28560}{30} = 952.0 \text{ minutos}$$

$$TMF \text{ actividades de mantenimiento} = \frac{28560}{5} = 5712.0 \text{ minutos}$$

$$TMF \text{ ajuste de las guías} = \frac{28560}{6} = 4760.0 \text{ minutos}$$

La tabla 8 muestra el tiempo medio entre fallos para cada actividad en el periodo de observación del 1 al 28 de Febrero de 2009.



Tabla 8. Tiempo medio entre fallas antes de aplicar la metodología del MA.

Actividad	Tiempo medio entre fallas (min)
<b>Cambio de bocas</b>	1241.7
<b>Ajuste de bocas</b>	952.0
<b>Actividades de mantenimiento</b>	5712.0
<b>Ajuste de las guías</b>	4760.0

### Tiempo medio entre fallas después de la aplicación de la prueba piloto

Para obtener el tiempo medio entre fallas después de aplicar la prueba piloto se calculó el tiempo total de operación y se contabilizó el número de fallas por cada actividad que ocasionó paros por cambios del juego de bocas, ajuste en el juego de las bocas, actividades de mantenimiento y ajuste de las guías. En la tabla 9 se muestra el número de fallas que ocasionaron paros y el tiempo de total de operación durante el periodo de observación que comprendió del 17 de Agosto al 12 de Septiembre de 2009.

Tabla 9. Tiempo total de operación y número fallos después de aplicar la metodología del MA.

Actividad	Número de veces
<b>Cambio de bocas</b>	19
<b>Ajuste de bocas</b>	24
<b>Actividades de mantenimiento</b>	1
<b>Ajuste de las guías</b>	1

**Nota:**

- **Periodo de operación: 17 de Agosto al 12 de Septiembre de 2009**
- **Tiempo de total operación en minutos: 28560**

Sustituyendo la información de la tabla 9 en la ecuación 1 se obtiene:

$$\text{TMF cambio de bocas} = \frac{28560}{19} \cong 1 \text{ falla cada } 1503.1 \text{ minutos de operación}$$

$$\text{TMF ajuste en el juego de bocas} = \frac{28560}{24} \cong 1 \text{ falla cada } 1190.0 \text{ minutos de operación}$$

$$\text{TMF actividades de mantenimiento} = 1 \text{ falla durante } 28560.0 \text{ minutos de operación}$$

$$\text{TMF ajuste de las guías} = 1 \text{ falla ocurrida durante } 28560.0 \text{ minutos de operación}$$

En la tabla 10 se muestra el tiempo medio entre fallos para cada actividad el periodo de observación del 17 de Agosto al 12 de Septiembre de 2009.



Tabla 10. Tiempo medio entre fallas después de aplicar la metodología del MA.

Actividad	Tiempo medio entre fallas (min)
Cambio de bocas	1503.1
Ajuste de bocas	1190.0
Actividades de mantenimiento	28560.0
Ajuste de las guías	28560.0

### Obtención de la disponibilidad de la maquinaria antes y después de la prueba piloto

Una vez obtenido el tiempo total de operación y el tiempo total de paro, se calculó la disponibilidad. Ésta comprende el tiempo en el cual la maquinaria se encuentra funcionando de manera adecuada.

Para obtener la disponibilidad se utilizó la ecuación 2:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{TTO - TTPP}{TTO} \dots \dots \dots \text{ecuación 2}$$

Dónde:

*TTO* = Tiempo Total de operación.

*TTPP* = Tiempo total de paro del periodo de observación

Sustituyendo la información de las tablas 4 y 7 en la ecuación 2, se obtuvo la disponibilidad de la maquinaria antes de la aplicación de la prueba piloto:

$$\text{Disponibilidad antes} = \frac{28560 - 5147}{28560} = 81.97\%$$

Sustituyendo la información de la tabla 6 y 9 en la ecuación 2, se obtuvo la disponibilidad de la maquinaria después de la aplicación de la prueba piloto:

$$\text{Disponibilidad después} = \frac{28560 - 1927.5}{28560} = 93.25\%$$

Con la comparación de estos resultados se observa que la disponibilidad de la maquinaria se incrementó del 81.97% al 93.25%.

### Prueba de hipótesis: Comparación de tiempo total de paro

Las pruebas de hipótesis realizadas tuvieron el objetivo de validar que los tiempos totales de paro presentados en las máquinas forjadoras, después de aplicar la metodología del mantenimiento autónomo, han disminuido:

- Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por cambio del juego de bocas
- Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por ajuste del juego de bocas
- Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por actividades de mantenimiento.
- Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por ajuste de las guías.



### Prueba de hipótesis para el tiempo total de paro por cambio del juego de bocas

Para aplicar la prueba de hipótesis de comparación del tiempo total de paro, por cambio del juego de bocas, se requirió lo siguiente:

- Conocer el tiempo total de operación ( $n$ ) de 2 muestras aleatorias independientes de tamaño  $n_1$  y  $n_2$ , antes y después de aplicar la metodología del MA. Estos valores son  $n_1=28560$  y  $n_2=28560$  (Tablas 7 y 9).
- Conocer el tiempo total de paro ( $x$ ) por cambio del juego de bocas  $x_1$  y  $x_2$ , antes y después de la aplicación de la metodología del MA. Estos valores son  $x_1=966$  y  $x_2=757.34$  (Tablas 4 y 6).
- Formular la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

Una vez conocidos el tiempo total de paro por cambio del juego de bocas ( $x$ ) 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 cambio del juego de bocas antes de aplicar MA es mayor al tiempo total de paro por cambio del juego de bocas después de utilizar MA. Es decir:

$$H_0: x_1 = x_2; \quad \text{Hipótesis nula.}$$

$$H_1: x_1 \neq x_2; \quad \text{Hipótesis alternativa.}$$

- De esta forma, sustituyendo los datos se tiene:

$$H_0: x_1 = 757.34; \quad \text{Hipótesis nula.}$$

$$H_1: x_1 \neq 757.34; \quad \text{Hipótesis alternativa.}$$

- Calcular el estimador del parámetro  $\hat{p}$  mediante la ecuación 3.

$$\hat{p} = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} \dots \dots \dots \text{ecuación 3}$$

Sustituyendo los valores  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $n_1$  y  $n_2$  en la ecuación 3 se obtiene:

$$\hat{p} = \frac{966 + 757.34}{28560 + 28560} = 0.0301$$

- Establecer el nivel de significancia ( $\alpha$ ).  
Una vez determinada la hipótesis nula y alternativa, se realizó la prueba de hipótesis con un nivel de significancia del 1% ( $\alpha=1\%$ ). 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 4.

$$\pm Z_{\alpha/2} \dots \dots \dots \text{ecuación 4}$$



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

$$\text{Rechazar } H_0: p_1 = p_2 \text{ si } z_0 > z^{\alpha/2} \text{ o si } z_0 < z^{-\alpha/2}$$

- Calcular el valor del estadístico de prueba  $z_0$ .  
Una vez determinada la región crítica, se calculó el valor del estadístico de prueba  $z_0$  mediante la ecuación 5.

$$z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p}) \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \dots \dots \dots \text{ecuación 5}$$

Dónde:

- $\hat{p}_1 = \frac{x_1}{n_1} = 966/28560 = 0.033823$
- $\hat{p}_2 = \frac{x_2}{n_2} = 757.34/28560 = 0.026517$
- $\hat{p} =$  Estimador del parámetro
- $n_1 =$  Tiempo total de operación antes de aplicar MA
- $n_2 =$  Tiempo total de operación después de aplicar MA

Sustituyendo los valores en la ecuación 5, el valor del estadístico de prueba para el cambio del juego de bocas es:

$$z_0 = \frac{0.033823 - 0.026571}{\sqrt{0.03017(1 - 0.03017) \left( \frac{1}{28560} + \frac{1}{28560} \right)}} = 5.10$$

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

$$\text{Rechazar } H_0: x_1 = 757.34 \text{ si } z_0 > z^{\alpha/2} \text{ o si } z_0 < z^{-\alpha/2}$$

Sustituyendo los valores del estadístico de prueba ( $z_0$ ) y el valor de la región crítica ( $z^{\alpha/2} = 2.58$ ) se tiene:

$$\mathbf{5.10 > 2.58}$$

Con este resultado se puede concluir 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 cambio del juego de bocas antes de aplicar MA es mayor.

Para la realización de la prueba de hipótesis sobre el tiempo total de paro por ajuste en el juego de bocas, actividades de mantenimiento y ajuste de las guías se utilizó un análisis estadístico similar al descrito; los resultados obtenidos se muestran en la tabla 11.



Tabla 11. Pruebas de hipótesis: comparación del tiempo total de paro

Causas de paro	Estimador del parámetro	Región de rechazo $\alpha=0.01$	Estadístico de prueba	Decisión
<b>Cambio bocas</b>	0.03	$\pm 2.58$	5.10	Rechazar
<b>Ajuste bocas</b>	0.01	$\pm 2.58$	5.28	Rechazar
<b>Actividades de mantenimiento</b>	0.04	$\pm 2.58$	28.60	Rechazar
<b>Ajuste de las guías</b>	0.03	$\pm 2.58$	34.23	Rechazar

### 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 es recomendable que los operarios mantengan constante comunicación con los preparadores y el personal de mantenimiento, y que se continúen realizando las reuniones, con el objeto de retroalimentar el área y ver la posibilidad de proponer mejoras que ayuden a incrementar la vida útil y la eficacia del equipo.

Las principales problemáticas que se disminuyeron al implantar MA fueron:

- Número y tiempo de los paros por cambio del juego de bocas.
- Número y tiempo de los paros por ajuste en el juego de bocas.
- Número y tiempo de los paros por actividades de mantenimiento.
- Número y tiempo de los paros por ajuste en las guías.

De los resultados obtenidos se puede concluir que la disminución del número de paros en muchas ocasiones no es tan importante como la disminución del tiempo de paro. Mediante las pruebas de hipótesis se pudo comprobar que por medio de la aplicación de la metodología del MA se logró disminuir tanto el número de paros como la duración de los mismos. Ésta es una de las razones por las cuales la empresa debe continuar realizando las siguientes actividades en las áreas restantes:

- Limpieza profunda bajo el lema "limpieza es inspección".
- Eliminar fuentes de fuga y derrames.
- Mejorar la accesibilidad para disminuir los tiempos dedicados a la limpieza e inspección.
- Detección y eliminación de todas las fuentes de riesgo: cables de alimentación eléctrica en mal estado, falta de prisioneros y piezas mal sujetadas.
- Detección de todas las anomalías que puedan generar un problema futuro en la maquinaria: fisuras, desgasta y falta de lubricación.
- Inspecciones por parte de los operarios.
- Organizar y gestionar el área de trabajo.

### Referencias

Blanchard, B. S. "An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1997, Vol. 3, Mo. 2, p 69-80.



Chand, G. y Shirvani, B. "Implementation of TPM in cellular manufacture," *Journal of Materials Processing Technology*, 2000, Vol. 103, No. 1, p 149-154.

Dounce, V. E. "Un enfoque analítico del mantenimiento Industrial," CECSA, México, 2006, p175-198.

Duffuaa, S., Dixon, C. J. and Raouf, A. "Sistemas de Mantenimiento planeación y control," Limusa Willey, México, 2008, p 358-363.

Ireland, F. y Dale, B. G. "A study of total productive maintenance implementation," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2001, Vol. 7, No. 3, p 183-192.

McKOne, K., Schroeder, R. G. y Cua, K. O. "The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance," *Journal of Operations Management*, Vol. 19, No. 1, p 39-58.

McKOne, K., Schroeder, R. G. y Cua, K. O. "Total productive maintenance: a contextual view," *Journal of Operations Management*, Vol. 17, No. 2, p 123-144.

Prickett, P.W. "An integrated approach to autonomous maintenance management," *Integrated Manufacturing Systems*, 1999, Vol. 10, No. 4, 233-243.

Shamsuddin, A., Masjuki, H. H, y Zahari, T. "TPM can go beyond maintenance: excerpt from a case implementation," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2005, Vol. 11, No. 1, p 19-42.

Shirose, K. "TPM para operarios," Taylor and Francis 1994, p 47-75.

Suzuki, T. "TPM en industrias de proceso," Productivity Press, Madrid, España, 1995, p 87-143.

