

Análisis de información para la implantación de un programa de Mantenimiento Productivo Total

M^a Carmen CARNERO

Universidad de Castilla-La Mancha, ETS Ingenieros Industriales, 13071 Ciudad Real, España

y

Rafael LÓPEZ-VIZCAÍNO

Universidad de Castilla-La Mancha, ETS Ingenieros Industriales, 13071 Ciudad Real, España

RESUMEN

El TPM se considera una política de mantenimiento de última generación en las empresas que quieren adoptar procesos de mejora continua en los sistemas de Mantenimiento.

La investigación desarrollada se ha realizado en una empresa ubicada en España. Dicha empresa se mostró motivada en implantar un programa de TPM, debido a la necesidad de disponer de un mantenimiento eficiente que le permitiese mejorar su área de operaciones. Por tanto, el objetivo de este artículo es exponer el proceso de selección del TPM como sistema para mejorar la competitividad de la empresa, así como el análisis de la información requerida para el diseño del programa TPM, supeditado a las características de una pequeña empresa.

Palabras Claves: Mantenimiento Productivo Total, mejora continua, averías.

1. INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se define como un nuevo sistema de gestión del mantenimiento que debe ser desarrollado por todos los trabajadores de la empresa organizados en pequeños grupos.

Existen numerosos ejemplos de aplicación de TPM en la literatura; entre ellos se pueden destacar [1] en el que se implanta en una célula de fabricación y [2], [8] y [11], en los que se expone la implantación en industrias dedicadas a la electrónica. Sin embargo, existen pocas referencias que analicen el proceso de selección del TPM como política de mantenimiento, entre ellas se puede destacar [4], dónde se emplea la técnica multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process). Por tanto, en este artículo se expone el proceso de selección del TPM como sistema para mejorar la competitividad

de la empresa, así como el análisis de la información requerida para el diseño del programa TPM. El proceso de toma de decisiones desarrollado puede servir de referencia para otras pequeñas y medianas empresas en su búsqueda de la mejora continua que garantice su supremacía frente a los competidores.

En la sección 2 se incluye una introducción al sistema TPM. En la sección 3 se describe el análisis de información realizado para la implantación del programa TPM. En la sección 4 se exponen los resultados obtenidos. En la sección 5 se incluyen los agradecimientos y en la sección 6 las referencias bibliográficas.

2. MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El TPM integra el mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mejoras de mantenimiento y la prevención del mantenimiento [10]; estas actividades se realizan por pequeños grupos que requieren la implicación de toda la empresa (incluida la dirección) a través de los trabajadores de producción, mantenimiento e ingeniería de planta [12].

Los objetivos de un programa TPM son [3]:

- 1) Conseguir la participación de todo el personal de planta.
- 2) Obtener la eficacia máxima en el sistema de producción y gestión de equipos.
- 3) Implantar un sistema que permita la eliminación de las seis grandes pérdidas y alcanzar los objetivos de cero defectos, cero averías y cero accidentes.
- 4) Implantar una política de mantenimiento preventivo para conseguir cero pérdidas mediante pequeños grupos de trabajo y la aplicación de mantenimiento autónomo.
- 5) Aplicar el sistema de gestión a todas las áreas relacionadas con producción como diseño y desarrollo, ventas y la dirección empresarial.

3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN PROGRAMA TPM

Uno de los aspectos más innovadores del TPM frente al resto de políticas de mantenimiento es la inclusión del mantenimiento autónomo; este se basa en que el trabajador que opera una máquina es el más cualificado para detectar el mal funcionamiento de las máquinas y realizar actividades de inspección y mantenimiento preventivo a partir de un programa de formación.

Mediante un programa TPM las empresas pueden mejorar [3]:

- 1) La productividad. Uno de los objetivos del TPM es la eliminación de la averías, lo que supone un incremento de la disponibilidad de la planta y, por tanto, de la productividad, así como mejoras de calidad, ya que las máquinas no operan con los efectos que generan las averías sobre los productos fabricados.
- 2) La capacitación del personal. Para ello, TPM incluye actividades de formación y entrenamiento que permitan al trabajador de producción mantener y mejorar su equipo productivo.
- 3) El puesto de trabajo. Mediante la disminución de la averías se consigue un descenso del riesgo del puesto de trabajo y, por tanto, se consigue un incremento en la seguridad en el trabajo. Además, TPM supone la aplicación en cada puesto de trabajo de la filosofía 5S constituida por:
 - Seiri. Supone aplicación de organización, clasificación y método.
 - Seiton u orden, mediante la identificación de cada elemento y su localización precisa.
 - Seiso o limpieza del equipo y la zona de trabajo.
 - Seiketsu consiste en mantener en buen estado las máquinas y herramientas.
 - Shitsuke o disciplina para el cumplimiento de los procedimientos y normas establecidos.
- 4) La organización. A través del apoyo de la dirección, se pretende conseguir la participación de todos los trabajadores en pequeños grupos, permitiendo con ello el desarrollo individual y la colaboración de los trabajadores.

El TPM aplica el concepto de mejora continua o kaizen para conseguir la mejor eficiencia.

Para implantar un programa TPM con éxito es necesario que los objetivos de este sistema estén en consonancia con la política de la dirección, el plan estratégico de la empresa y disponer de la adecuada actitud y adaptación al proceso de cambio por parte de los trabajadores; éstos últimos aspectos son más complejos de solventar en el caso de pequeñas empresas.

Para una ampliación del concepto TPM se puede consultar [6], [7] y [9].

Situación inicial

La empresa objeto de este artículo centra su actividad en la fabricación de pavimentos para exteriores. La empresa se ha dedicado a la fabricación y venta de diversos formatos de pavimentos y modelos (pastillas, abujardados, pizarra, etc.), caracterizándose siempre por el cumplimiento de los requisitos del cliente.

La política empresarial está basada en la mejora continua de la capacidad productiva y una constante preocupación por el correcto servicio al cliente, tanto externo como interno. Las líneas estratégicas establecidas por la empresa son las siguientes:

- Ofrecer un producto acorde con las especificaciones del cliente.
- Ser competitivos mediante la optimización de la gestión productiva, la calidad y el servicio.
- Mantener un ritmo de producción continua, pero con la suficiente flexibilidad como para adaptarse a las épocas de demanda alta y variada.

La empresa implantó un sistema de gestión de la calidad en base a los requisitos de la norma UNE-EN-ISO 9001:2000 para la actividad de fabricación y comercialización de los pavimentos, consiguiendo la certificación en agosto del 2005.

Una de las bases de dicho sistema de gestión de la calidad es la mejora continua del producto y del servicio proporcionado al cliente.

La fabricación se realiza mediante cuatro líneas de producción de baldosas de: 15 cm², 20 cm², 30 cm² y 40 cm². Son líneas con maquinaria flexible de nivel intermedio ya que se puede cambiar de formato, modelo y color.

El principal problema del área de fabricación se debe a la interacción del banco de herramientas para reparaciones con los restantes puestos de trabajo, al tratarse de un centro de trabajo móvil y del que hay que seleccionar herramientas para los demás centros de trabajo, las cuales suelen perderse durante el proceso.

En cuanto al mantenimiento a realizar, la única planificación disponible es la referente al engrase de la maquinaria y vehículos y la comprobación diaria de la presión máxima en las prensas. Se ha apreciado que no se posee de ningún tipo de análisis de incidencias de averías, que ayude a determinar las que se producen con mayor frecuencia y desarrollar una planificación adecuada. Además, en la actualidad se dispone de un pequeño almacén de repuestos, que se encuentra totalmente desorganizado y, en su mayor parte, son repuestos poco utilizados, por lo que habitualmente se pierde más tiempo en las reparaciones del necesario, al tener que adquirir las piezas de repuesto en el momento de la aparición de la avería. Por último, se debe destacar que la documentación existente en el departamento de mantenimiento, relativa a información

técnica de máquinas, presenta importantes carencias, al encontrarse desordenada, en mal estado de conservación o desfasada.

Proceso de Mejora

A continuación se expone el proceso para seleccionar las mejoras a desarrollar en la empresa.

Debido a que el sector del hormigón, en el que se encuentra incluida la empresa objeto de estudio, se ve afectado de forma indirecta por el protocolo de Kioto, al repercutir éste en las empresas cementeras, grabando sus productos, y al ser el cemento la materia prima de la empresa analizada. Además, existe una gran competencia en el mercado actual, de manera que al corto plazo de entrega impuesto por los clientes, la Dirección está siendo obligada a mantener su margen comercial a niveles que le permitan seguir siendo competitivos. Por ello, se sugirió la realización de un proceso de mejora empresarial.

Para comenzar dicho proceso de mejora se mantuvo una reunión en la que participaron el Gerente, el Responsable del Departamento de Administración, el Responsable de Ventas y el Responsable de Fabricación. En dicha reunión se llevó a cabo una tormenta de ideas con el fin de determinar los posibles temas de actuación. Como resultado se obtuvieron las siguientes alternativas:

- Aumentar la productividad.
- Reducir de costes de producción.
- Buscar nuevos mercados.
- Aumentar las ventas en los mercados actuales.
- Mejorar la organización del trabajo.
- Disminuir stoks en almacén.
- Mejorar el mantenimiento.
- Mejorar la formación laboral.
- Mejorar la limpieza de las instalaciones.
- Reducir la accidentabilidad en planta.

Para poder priorizar las ideas, se procedió a una votación múltiple para reducir los temas en cuestión (ver figura 1). En una primera votación cada participante votó tantos temas como considero oportunos, pero sólo una vez a cada uno de ellos. De la primera votación se obtuvieron los temas con mayor puntuación, a partir del número de miembros el grupo decisor dividido entre dos. Para la segunda votación cada participante pudo emitir un número de votos igual a la mitad de los temas preseleccionados en la votación anterior (3), pudiendo dar cada participante tan sólo un voto por alternativa.

Al finalizar la votación múltiple se obtuvieron tres alternativas. Para poder seleccionar una de ellos como objetivo a mejorar, se elaboró la matriz de selección que se muestra en la figura 2; esta matriz permite evaluar las alternativas en función del impacto sobre el cliente y su necesidad de mejora. Como cliente se decidió considerar siempre al Departamento de Fabricación, ya que sobre él recaería, en los tres casos,

la mayor parte de las acciones de mejora. Para tomar una decisión, cada participante votó en una escala de 1 a 5, el impacto de cada alternativa sobre el cliente y la necesidad de mejora. La puntuación total se obtiene de la multiplicación del sumatorio de las puntuaciones del impacto sobre el cliente por el sumatorio de la necesidad de mejora, en cada uno de los temas. La alternativa con mayor puntuación total es la elegida.

VOTACIÓN MULTIPLE	Equipo funcional Nº de miembros = 4		1º	2º
	1._ Aumentar la productividad.	5	→	3
2._ Reducción de costes de producción.	5	→	3	→
3._ Nuevos Mercados.	4	→	*	
4._ Aumento de ventas en los mercados actuales.	3	→	1	
5._ Mejorar organización del trabajo.	4	→	1	
6._ Disminuir stocks en almacén.	2		*	
7._ Mejoras en mantenimiento.	5	→	3	→
8._ Formación Laboral.	2		*	
9._ Mejora en limpieza.	3	→	1	
10._ Accidentabilidad en planta.	2		*	

Figura 1. Tormenta de ideas y votación múltiple.

TEMA	CLIENTES	IMPACTO SOBRE EL CLIENTE	NECESIDAD DE MEJORA	TOTAL
Aumentar la productividad	Dpto. Fabricación	3+2+3+4= 12	3+5+4+3= 15	180
Reducción de costes de producción	Dpto. Fabricación	3+4+3+4= 14	4+5+4+3= 16	224
Mejorar mantenimiento	Dpto. Fabricación	5+4+4+5= 18	4+5+5+5= 19	342

Figura 2. Matriz de selección.

Para seguir siendo competitivos manteniendo la calidad existente en su producto y el servicio al cliente, surge la necesidad de reducir los costes. La Dirección, analizando la situación actual de operaciones, se ha planteado que la mejor solución, a la hora de reducir costes, puede alcanzarse mediante dos opciones:

- Aumentar la producción media actual.
- Reducir los costes de producción.

Mejorar el mantenimiento se aprecia como una posible vía para alcanzar ambos objetivos. Para ello, también debe existir una buena gestión en la organización del trabajo, gestión de recursos y gestión documental, como base para desarrollar un trabajo más eficiente.

A continuación, se realizó un análisis DAFO (Debilidades-Amenazas-Fortalezas-Oportunidades).

Dentro del análisis externo de la situación se han determinado las siguientes amenazas:

- Elevada competencia, con ventas a un precio por debajo del coste de fabricación.
 - Aumento del precio de la materia prima.
 - Descenso del precio del producto terminado en el mercado.
 - Concentración de empresas en el mercado local.
 - Falta de personal cualificado.
 - Nuevas empresas con productos suplementarios.
- A continuación se determinaron las oportunidades:
- Menor competencia en mercados locales adyacentes.

- Temporalidad en la demanda.
- Alto índice de paro.
- Barrera económica que impide el acceso al mercado de nuevos competidores.

A continuación se desarrolló el análisis interno, determinando las fortalezas y las debilidades existentes en la organización. Las fortalezas encontradas son:

- Consolidación en el mercado.
- Experiencia en el sector.
- Calidad de producto y servicio al cliente.
- Buena relación calidad-precio.
- Estándares productivos en producto y proceso.
- Sistema de gestión de la calidad, plan de mejora continua.
- Cumplimiento de lo normativa CE en producto.
- Cumplimiento de la norma UNE-1339:2003.
- Cumplimiento del Reglamento de seguridad, salud e higiene.
- Involucración y apoyo de la Gerencia en los aspectos productivos.

Las debilidades detectadas fueron:

- Organizativas:
 - En cuanto a movimientos, gestión de la información, personal, materiales auxiliares, herramientas, etc.
 - Relativas a tiempos de espera.
- Falta de personal cualificado.
- Suciedad, polvo.
- Ruido ambiental.
- Estado de las infraestructuras.
- Estado de los equipos.
- Estado de las protecciones.
- Mala planificación de las actividades.
- Elevado número de averías menores.
- Defectuoso inventario y almacén de repuestos y materiales auxiliares.
- Desidia del personal.

La matriz DAFO resultante se muestra en la figura 3.

A partir de los resultados anteriores, la Dirección ha establecido los siguientes objetivos estratégicos:

- 1) Continuar con la característica existente de buena relación calidad-precio.
- 2) Subsana, en la medida de lo posible, las debilidades existentes, mejorando así la eficiencia productiva y reduciendo costes de producción.

Para conseguir los citados objetivos, la Dirección ha delegado en el Departamento de Fabricación la elaboración de un Plan de Actuación. El Plan de actuación debe dar solución a los problemas encontrados, por lo que se duda, que tan sólo un plan de Mantenimiento sea lo más adecuado. Mediante el análisis de la información disponible se llega a la conclusión que lo que se necesitaría sería un sistema de mantenimiento global que impulse a Producción en la consecución de sus objetivos, es decir la implantación

de un programa basado en el Mantenimiento Productivo Total.

DEBILIDADES		AMENAZAS
Organización:	-Movimientos de información, personal, materiales, herramientas. -Tiempos de espera.	Competencia Uniforme. Bajo coste.
Falta de personal cualificado.		Nuevos productos suplementarios
Suciedad (polvo).		Aumento del precio de materias primas.
Ruido Ambiental.		Menor precio de producto acabado.
Mantenimiento	-Estado de infraestructuras. -Estado de los equipos. -Estado de las protecciones. -Planificación de las actividades. -Elevado número de averías.	Saturación del mercado local
Defectuoso inventario y almacén de repuesto y materiales auxiliares.		Falta de personal cualificado.
Desidia del personal.		
FORTALEZAS		OPORTUNIDADES
Consolidación en el mercado.		Menos competencia en mercados locales adyacentes.
Experiencia en el sector.		
Calidad de productos y servicios.		Temporalidad.
Relación CALIDAD-PRECIO		
Estándares productivo	Proceso Producto	Mayor paro.
Plan de mejora continua.		
Cumplimiento de la normativa de CE en producto.		Barrera económica que impide al mercado nuevas competencias.
Cumplimiento normativa UNE del sector.		
Cumplimiento del reglamento de salud y higiene		
Involucración y apoyo de la gerencia en los aspectos productivos.		

Figura 3. Matriz DAFO.

3. RESULTADOS

En primer lugar se realizó el cálculo de una serie de indicadores asociados a cada línea de producción. Así, se definen los siguientes indicadores [5]:

- Disponibilidad propia (Dp).

$$Dp = \frac{TR}{TR + TPSU + TPP} \quad (1)$$

Siendo TR el tiempo requerido de producción, TPSU es el tiempo empleado en actividades de iniciación y arranque del equipo, incluido el tiempo para cambio de formato. TPP es el tiempo de parada planificada, en el que se incluye el tiempo planificado con anterioridad empleado en revisiones y trabajos de mantenimiento preventivo.

- Disponibilidad intrínseca o de explotación (Di).

$$Di = \frac{TR - TPI}{TR} \quad (2)$$

TPI se define como el tiempo de parada inducido (parada imprevista). Por lo general es el tiempo debido a averías u otros sucesos imprevistos.

- Disponibilidad del equipo (De).

$$De = Dp \times Di \quad (3)$$

- Rendimiento de Operación (RO).

$$RO = TEf \times EV \quad (4)$$

Definiéndose TEf y EV como se muestra en la Ec. (5).

$$TEf = \frac{TCT}{TCR} \quad EV = \frac{TCTVD}{TCT} \quad (5)$$

Siendo TCR el tiempo de ciclo real y TCT el tiempo de ciclo teórico o de diseño y TCTVD el tiempo de ciclo teórico a la velocidad de diseño.

- Eficiencia total del equipo (ETE).

$$ETE = Dp \times Di \times RO \times Tq \quad (6)$$

Siendo Tq la tasa de calidad de la producción, es decir la razón entre los productos buenos y el total de productos producidos.

Los datos globales del periodo analizado no se pueden considerar catastróficos, ya que se dispone de una eficiencia total del equipo del 82,71%, pero se pueden obtener mejores resultados analizando los resultados obtenidos.

En la figura 4 se muestra la evolución de la disponibilidad propia (Dp), intrínseca (Di) y del equipo (De) de la línea 2. Las disponibilidades globales en el periodo analizado se encuentran cercanas al 90%, pero se puede apreciar en los valores mínimos, la gran repercusión que tienen sobre la disponibilidad la reparación de averías de larga duración, los cambios de formato y el absentismo del personal. Cabe destacar sobre todo las actividades asociadas al cambio de formato que hacen caer la disponibilidad hasta el 20%.

En la figura 5 se muestra la tasa de eficiencia (TEf) de la línea 2. La tasa global de eficiencia de la línea durante el periodo considerado es del 93,41%, pero analizando los días en que la eficiencia es mínima, se aprecia el efecto de utilizar un operario diferente al habitual, bajando la eficiencia casi al 60% y posteriormente subiendo esta de forma progresiva; también se puede observar pérdida de eficiencia después de un cambio de formato. Además, puede apreciarse el número de días en que la eficiencia es superior a la unidad; aunque en ningún caso sube por encima del 5%, lo que puede ser indicativo de que el tiempo teórico de ciclo es inferior al que se ha considerado. La relación entre el tiempo de ciclo teórico y real también puede apreciarse en la figura 6.

En la figura 7 se muestra el efecto conjunto de los problemas anteriores sobre la eficiencia total del equipo.

Del análisis de las averías se observa que las averías mecánicas son las de mayor incidencia y las que mayor tiempo improductivo producen (ver figuras 8 y 9). Al observar el medio en el que se trabaja, se puede identificar fácilmente el motivo de la gran cantidad de averías mecánicas: el polvo generado por el cemento seco.

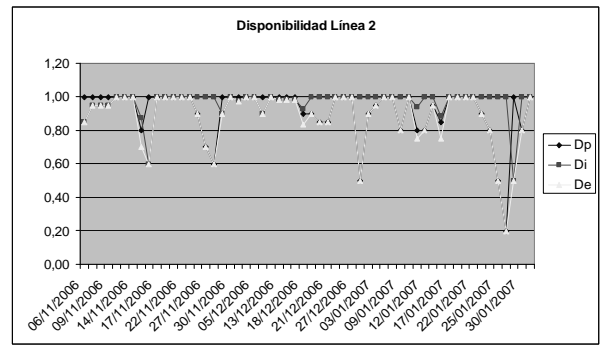


Figura 4. Disponibilidad propia (Dp), intrínseca (Di) y del equipo (De) de la línea 2.

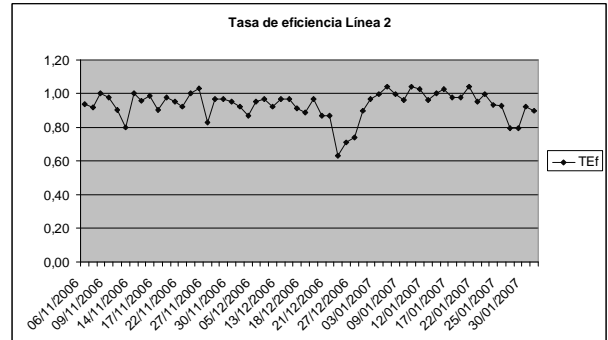


Figura 5. Tasa de eficiencia (TEf) de la línea 2.

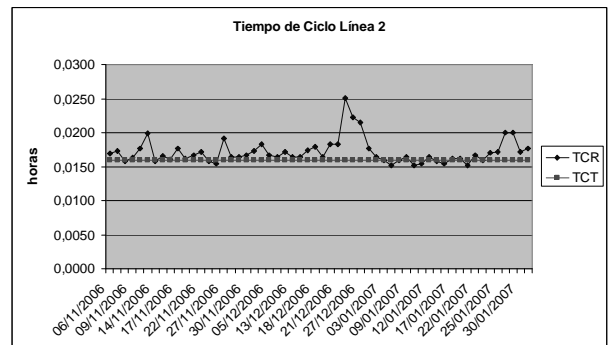


Figura 6. Tiempo de ciclo teórico (TCT) y real (TCR) de la línea 2.

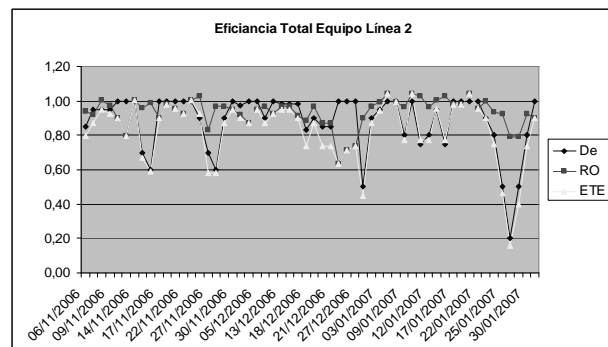


Figura 7. Disponibilidad del equipo (De), rendimiento de operación (RO) y eficiencia total del equipo (ETE) de la línea 2.

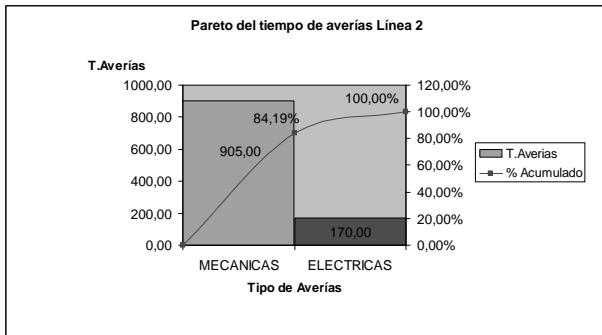


Figura 8. Análisis de Pareto del número de averías.

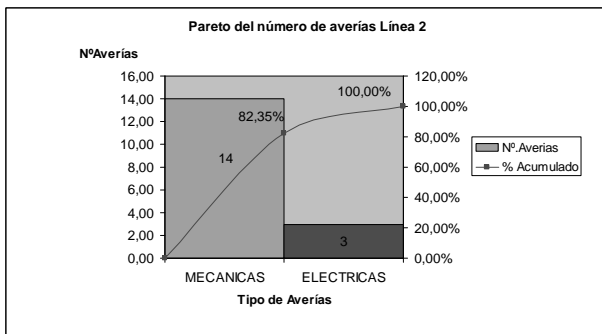


Figura 9. Análisis de Pareto del tiempo de averías.

De los resultados obtenidos se observa que las averías mecánicas son las de mayor incidencia y las que mayor tiempo improductivo producen.

De los datos de producción se pueden apreciar los siguientes aspectos:

- 1) La mayor pérdida de capacidad productiva son las grandes paradas debidas a:
 - Averías graves.
 - Absentismo del personal.
 - Averías crónicas.
 - Actividades relativas a los cambios de formato.
- 2) Las pérdidas por pequeñas paradas y reparaciones son limitadas pero son las causantes del incremento del tiempo de ciclo
- 3) Otra fuente de elevadas pérdidas de capacidad es la baja eficiencia que posee el proceso productivo en la actualidad.

Por tanto, el objetivo a perseguir es el aumento en la productividad, que permita disminuir los costes variables de producción. Para ello es necesario:

- Reducir las averías graves y crónicas mediante un plan de mantenimiento preventivo y una mejora del mantenimiento correctivo.
- Mejorar del entorno de trabajo, eliminando la suciedad desde sus orígenes y manteniendo el orden.
- Mejorar los métodos de trabajo para incrementar la efectividad de la planta.
- Desarrollar los aspectos anteriores de manera motivadora y dinámica, para intentar despertar una mayor conciencia de equipo entre el personal.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha por su financiación para la realización del proyecto PCI08-0042-6312.

6. REFERENCIAS

- [1] Chand, G., Shirvani, B. Implementation of TPM in cellular manufacture, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 103, 2000, pp. 149-154.
- [2] Chan, F.T.S., Lau, H.C.W., Ip, R.W.L., Chan, H.K., Kong, S. Implementation of total productive maintenance: A case study, *International Journal of Production Economic*, Vol. 95, 2005, pp. 71-94.
- [3] Cuatrecasas, L. TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción, *Gestión 2000*, Barcelona, 2003.
- [4] Kodali, R., Chandra, S. Analytical Hierarchy Process for justification of total productive maintenance, *Production Planning & Control*, Vol. 12, No. 7, 2001, pp. 695-705.
- [5] López-Vizcaíno, R. Diseño de un sistema de mantenimiento productivo total en una PYME, Universidad de Castilla-La Mancha, proyecto fin de carrera, 2008.
- [6] Nakajima, S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance, Productivity Press, Cambridge, MA, 1988.
- [7] Nakajima, S., Yamashina, H., Kumagai, C. & Toyota, T. Maintenance management and control. In: G. SALVENDY (Ed.) *Handbook of Industrial Engineering*, 2nd Edn John Wiley, New York, 1992.
- [8] Perez-Lafont, J. L. Instalacion of a TPM program in a Caribbean plant, *Computers industrial Engineering* Vol. 33, Nos 1-2, 1997, pp. 315-318.
- [9] Rey, F. mantenimiento total de la producción (TPM) proceso de implantación y desarrollo, FC Editorial, Madrid, 2001.
- [10] Shirose, K. TPM para mandos intermedio de fábrica, Productivity press, Madrid, 1994.
- [11] Sun, H., Yam, R., Wai-Keung, N. The implementation and evaluation of Total Productive Maintenance (TPM) - an action case study in a Hong Kong manufacturing company, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, Vol. 22, 2003, pp. 224-228.
- [12] Tajari, M., Gotoh, F. Programa para el desarrollo del mantenimiento autónomo, TGP Hoshin, Madrid, 2004.