

---

---

## FACTORES TECNOLÓGICOS ASOCIADOS AL ÉXITO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO TOTAL (TPM) EN MAQUILAS

Jorge Luis García Alcaráz, Lázaro Rico Pérez, Jaime Romero González.

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología  
Administración de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### Resumen

El mantenimiento productivo es una de las prácticas más utilizadas por las empresas para reducir los costos de producción e incrementar la disponibilidad del equipo. Sin embargo, en la práctica industrial no se conoce que factores tecnológicos influyen de una manera objetiva y muchas empresas lo aplican de manera empírica, buscando alcanzar los beneficios que TPM ofrece y que se reportan en la literatura. Por ello en este artículo se presentan los resultados de una encuesta aplicada a 203 gerentes, supervisores y personal relacionado con la aplicación de esta técnica en la industria maquiladora de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, a quienes se cuestionó en relación a los aspectos de tipo tecnológico que según su experiencia, podían tener impacto en el éxito de TPM. El cuestionario contenía 26 ítems o preguntas relacionadas con aspectos tecnológicos, el cual se validó mediante el estadístico alfa de Cronbach. Se realizó un análisis factorial a los datos y se determinó que solamente cuatro factores explican el 61.57% de la variabilidad de todas las actividades analizadas.

**Palabras claves:** Optimización, TMP, alfa de Cronbach, análisis factorial

### Introducción

El Mantenimiento Preventivo Total (TPM) es en la actualidad uno de los sistemas fundamentales para lograr la eficiencia y competitividad, lo que supone cumplir con especificaciones de calidad, tiempo y costo de la producción y generalmente se ejecuta en conjunto con TQM (Total Quality Management), el cual se fundamenta en la búsqueda permanente por mejorar los rendimientos de procesos y los medios de producción (Wikoff, 2007).

TPM es una técnica altamente eficaz en aquellas empresas que cuentan con muchas operaciones automáticas y

secuenciales (empresas que hace uso intensivo de maquinaria), ya que combina un conjunto de actividades y técnicas específicas para lograr un mejor avance en la capacidad de producción, sin requerir grandes inversiones y logrando por ende un mejor aprovechamiento de las instalaciones existentes (Wikoff, 2007; Cooke, 2000).

TPM no es una idea nueva, es simplemente el siguiente paso en la evolución de las buenas prácticas de mantenimiento (Wikoff, 2007; Dinesh y Tripathi, 2006). y algunas ocasiones se confunden las diferencias entre el mantenimiento predictivo (PM, preventivo, predictivo y proactivo) y TPM. TPM

proporciona un acercamiento comprensivo del ciclo de vida del producto y del equipo, lo que reduce al mínimo el número de fallas del mismo, defectos de producción y accidentes. Es una estrategia agresiva que se centra en mejorar la función y el diseño de la producción del equipo (Wikoff, 2007; Chandra y Shastri, 1998) e implica a cada persona en la organización, desde el nivel superior de la gerencia, incluyendo mecánicos de producción, e incluso a los proveedores.

TPM pretende aumentar la disponibilidad y eficacia del equipo existente en cualquier situación, que busca la mejora del equipo de producción, mantenerlo en el nivel óptimo de servicio y así reducir su costo de ciclo de vida; y por ende, también con la inversión mínima en recurso humanos (Wikoff, 2007). Otra meta de TPM es reducir y controlar la variación en el proceso (Reed, 1996)

#### *¿Qué pasa si no se implementa TPM?*

Se reporta que cuando no se implementa adecuadamente TPM, entonces se corre el riesgo de incurrir en las seis grandes pérdidas, las cuales se manifiestan en tres aspectos fundamentales (Tajiri y Gotoh, 1992): tiempos muertos o paro del sistema productivo, funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos y productos defectuosos o malfuncionamiento de las operaciones en un equipo. Las seis grandes pérdidas son las averías frecuentes en maquinaria, grandes tiempos en preparaciones entre un lote y otro, microparadas, velocidad de proceso menor y cuellos de botella, calidad reducida del producto y tiempos elevados de arranque.

#### *Beneficios de TPM*

TPM tiene numerosos beneficios, uno de los más importantes es que los gastos de mantenimiento son planeados y controlados (Tajiri y Gotoh, 1992; Eti *et al.*

2004). Otro beneficio es la reducción de la fuerza de mantenimiento, ya que al girar todas las actividades hacia la producción, el personal de mantenimiento que antes estaba haciendo el trabajo de prevención, ya no es necesario. También se obtiene una reducción de la mano de obra indirecta, ya que los gastos generales de la programación de los trabajos son relacionados con la producción (Takahashi y Osada, 1989; Chan *et al.* 2005).

Otros autores reportan muchos otros beneficios de TPM, aunque son menos cuantificables.; por ejemplo, a medida que aumenta la participación de los empleados, mejoran las relaciones entre éstos y los operadores son ahora reconocidos por las ideas que aportan a la empresa (Chan *et al.* 2005; Chand y Shirvani, 2000; Cua *et al.* 2001). En segundo lugar, como la calidad del producto mejora, también lo hará la satisfacción del cliente, ya que éstos esperan un producto consistente, confiable y TPM puede ayudar a conseguirlo (Gosavi, 2003; McKone *et al.* 2001; Aichlmayr, 2009). En tercer lugar, ya que los operadores se familiarizan con las herramientas y técnicas utilizadas en el proceso de resolución de problemas, la velocidad a la que se resuelven otro tipo de problemas, aumenta. Por último, como el equipo se vuelve más confiable, y el proceso más repetible, la programación del flujo de trabajo mediante el proceso se vuelve más fácil (Ashayeri, 2007; Alsyouf, 2009; Dowlatshahi, 2009).

Actualmente, son muchos los reportes que se pueden encontrar en la literatura en relación a TPM y sus aplicaciones; por ejemplo, se reporta un análisis de las organizaciones americanas que lo han implantado y relata sus beneficios (McKone *et al.* 1999), otros reportan el proceso de implantación en una planta industrial de Nigeria y los beneficios que han alcanzado (Eti *et al.* 2004), se reporta también cómo se han optimizado secciones de una empresa dedicada a la

producción de papel (Sachdeva *et al.* 2008), otros realizan un análisis empírico del rol que juega el TPM en la industria maquiladora (Dowlatshahi, 2008), se reporta un análisis de la importancia que ha tenido TPM y se ha concluido que éste debe ser parte importante de la estrategia de muchas empresas si desean ser competitivas (Pinjala, 2006) se ha identificado un caso de estudio donde se indica cómo se puede llegar a tener un sistema de producción ágil y sustentable mediante la aplicación de un buen programa de TPM (Vinodh, 2010), lo cual ya había sido reportado anteriormente al relacionar los beneficios de TPM, con Justo a Tiempo (JIT) y Control Total de la Calidad (Cua *et al.* 2001).

Sin lugar a dudas, son muchos los beneficios que ofrece el TPM cuando éste es bien implantado en las empresas; sin embargo, la pregunta que todo gerente de mantenimiento se hace es ¿Qué debe hacerse para alcanzar tales beneficios de costos, flexibilidad y disponibilidad del equipo? Específicamente, ¿Qué debe hacer la gerencia y sus empleados para alcanzar dichos beneficios? Lamentablemente, muchos autores se han limitado a definir procesos de implantación y generalmente son estudios de caso particulares, tales como "¿cómo he implementado el TPM en mi compañía" (Pinjala *et al.*, 2006; Eti *et al.*, 2006; Zhou y Zhu, 2008; Aissani *et al.*, 2009). Los autores de esos trabajos fueron generalmente los empleados (o consultores) responsables de la implantación de TPM en la empresa. Desafortunadamente, la mayoría son casos aislados de observaciones o sucesos en un determinado lugar y tiempo y pocas investigaciones se han realizado en relación a los factores claves del éxito de la herramienta, específicamente aquellos de tipo administrativo.

Por ello, el objetivo de esta investigación es presentar un análisis descriptivo y multivariado en el que se identifiquen los factores claves del éxito de

TPM que están relacionados con aspectos metodológicos o con la estrategia de implantación, lo cual ayudará a las empresas a realizar una mejor planeación de los procesos de adopción de esta técnica.

### **Descripción del Método**

La metodología empleada en esta investigación ha implicado el diseño de un instrumento de recolección de datos e identificación de actividades de tipo metodológico que son consideradas importantes en el éxito de TPM, recoger y analizar la información y concluir en base a los resultados encontrados, por lo que se ha trabajado en diferentes etapas, mismas que se describen a continuación.

#### *Primera Etapa: Identificación de los Atributos y Creación del Instrumento*

La fase inició en agosto de 2009 y concluyó en la segunda semana de Septiembre de 2009, y se focalizó en una revisión bibliográfica para determinar las investigaciones relacionadas con el problema de determinar las actividades relacionadas con la metodología seguida para aplicar TPM en los plantas industriales, encontrándose referencia a veintidós de éstas.

Con las veintidós actividades identificadas, se elaboró un cuestionario preliminar que fue aplicado a un total de ochenta y ocho gerentes o supervisores responsables del TPM, los cuales laboran en la industria maquiladora de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Sin embargo, se dejó espacio para que los encuestados de manera libre manifestaran otros atributos que consideraran importantes o de aplicación práctica e industrial y que no aparecían en el cuestionario generado a partir de los reportes de la literatura. Un total de seis nuevas actividades fueron identificadas. Así, se tenía un total de veintiséis actividades que gerentes y supervisores consideran

importantes para el éxito de TPM y que son de carácter metodológico.

Las veintiséis actividades fueron evaluadas en una escala del uno al nueve, según el nivel de importancia que éstas tuvieran a juicio de los encuestados, donde el uno indicaba una importancia nula y el nueve la importancia extrema de dichas actividades (Likert, 1932). Dicha escala se ilustra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Actividades y sus Abreviaciones

Valor	Concepto
1	Sin importancia
3	Ligeramente importante
5	Regularmente importante
7	Moderadamente importante
9	Muy importante
2,4,6,8,	Valores intermedios

*Segunda etapa: Aplicación del Cuestionario y Colección de Información*

Esta etapa inició en la tercera semana de Septiembre y concluyó en Enero de 2010 y consistió en contactar vía telefónica a todos los candidatos a responder el cuestionario, los cuales pertenecían al sector maquilador del corredor industrial de Ciudad Juárez, Chihuahua, México y para ello se usó un directorio de empresas y personal proporcionado por la AMAC (Asociación de Maquiladoras, A. C.) que constaba de 769 gerentes y supervisores de mantenimiento, con quienes se acordó una cita para realizar el llenado del cuestionario, acudiéndose al lugar de trabajo de éstos. Sin embargo, no todas las encuestas fueron respondidas en la primera o segunda cita, y se acordó realizar un total de tres visitas a

los posibles encuestados, después de ese número de intentos, si no se lograba conseguir la información, ese caso era abandonado por requerir de mucho tiempo.

Al final del proceso de colección de información, se logró obtener un total de 203 encuestas válidas, las cuales podían ser analizadas.

*Tercera Etapa: Análisis de la Información*

En la tercera etapa se realizó la captura y análisis de la información. Se construyó una base de datos en el software denominado SPSS 17, donde se construyó una tabla con los 203 casos correspondientes a los cuestionarios respondidos y que aparecían por filas, mientras que las 26 columnas representaban a las actividades evaluadas para garantizar el éxito de TPM. Se realizó un análisis descriptivo de los atributos, en la que se obtuvo la mediana y moda como medidas de tendencia central y se obtuvo la y desviación estándar de las puntuaciones.

Para la validación del cuestionario se usó la prueba Alfa de Cronbach, donde se analizaron también los impactos que tenían cada atributo o ítem si éste fuese eliminado del cuestionario. Con la finalidad de determinar la factibilidad del análisis factorial se analizó la matriz de correlaciones y se observó que la mayoría de las correlaciones eran mayores a 0.3, además se analizó de las correlaciones de la matriz anti-imagen. Asimismo, se obtuvo el índice KMO (Kaiser, Meyer, Olkin), se aplicó la prueba de esfericidad de Bartlett para medir la adecuación de la muestra y se analizaron las comunalidades de cada uno de los atributos.

Para determinar los factores críticos que son evaluados en un ingeniero que se desempeña en la industria maquiladora o manufacturera, se realizó un análisis

factorial por el método de componentes principales y dado que se tenía una muestra de 271, se consideró un corte de cargas factoriales de 0.5.

La extracción de los componentes se realizó haciendo uso de la matriz de correlación y se consideraron como importantes aquellos factores con un valor mayor o igual a la unidad en sus Eigenvalores, condicionándose la búsqueda a 100 iteraciones para la convergencia de un resultado. Además, con la finalidad de obtener una mejor interpretación de los factores críticos, se realizó una rotación por el método Varimax. Asimismo, en el análisis factorial se eliminaron los atributos con cargas factoriales con valor menor a 0.5.

#### *Cuarta Etapa: Análisis Factorial Exploratorio*

Esta etapa se realizó de la primera a la segunda semana de abril de 2010 y se determinó la factibilidad del análisis factorial, se analizó la matriz de correlaciones (Nunnally, 1978; Nunnally y Bernstein, 1995); además, se analizó la diagonal de la matriz anti-imagen de la matriz de correlaciones con la finalidad de observar la adecuación de la muestra. Asimismo, se obtuvo el índice KMO (Kaiser, Meyer, Olkin), se aplicó la prueba de esfericidad de Bartlett para medir la adecuación de la muestra y se analizaron las comunalidades de cada una de las actividades para analizar su contribución, estableciendo a 0.5 como punto de corte (Lévy y Varela, 2003).

Para determinar los factores críticos, se realizó un análisis factorial por el método de componentes principales usando la matriz de correlación para la extracción de los componentes y se consideraron como importantes aquellos factores con un valor mayor o igual a la unidad en sus Eigenvalores (Streiner y Norman, 1995). Además, con la finalidad de obtener una mejor interpretación de los factores críticos,

se realizó una rotación por el método Varimax (Lévy y Varela, 2003).

## **Resultados**

La sección de resultados está dividida en subsecciones, según la información que se presente.

### *Composición de la muestra*

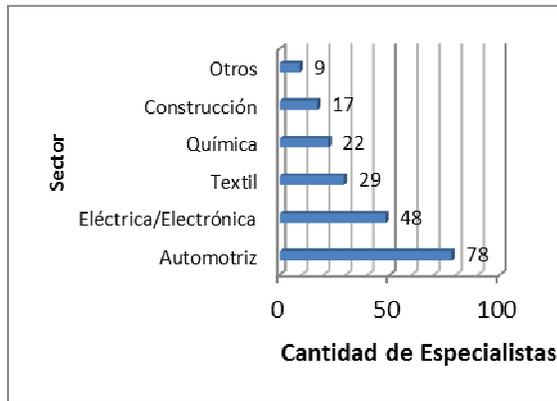
En el periodo de recolección de información se obtuvo un total de 203 cuestionarios validos, los cuales provenían de un total de 72 empresas ubicadas en los corredores industriales de Ciudad Juárez, Chihuahua, México y 68 pertenecían a gerentes o superintendentes de mantenimiento y el resto, 135, provenían del área de supervisión. En la Figura 1 se ilustra el tipo de empresa o sector al que estaban adscritos los 203 encuestados, donde claramente se observa que el sector automotriz y eléctrico/electrónica son los más representados.

De la misma manera, en la Figura 2 se exponen las profesiones que tenían los encuestados responsables de las actividades de mantenimiento. Se observa claramente que la carrera de ingeniería industrial es la más representada, seguida por el área de ingeniería mecánica, después de las carreras de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica. Cabe señalar que algunas de estas carreras son nuevas y que en la región existen instituciones de educación superior que ofrecen la carrera de Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecánica desde hace mucho tiempo.

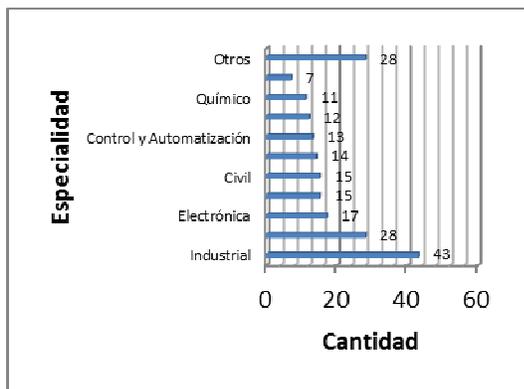
### *Validación del Cuestionario, Construcción de Escala e Identificación de Ítems*

Se obtuvo el índice Alfa de Cronbach a los veintiséis ítems iniciales y se observó que eliminando algunos de éstos se mantenía o mejoraba la consistencia interna del cuestionario, por lo que la lista final de

ítems a analizar se obtuvo de manera iterativa, es decir, se eliminaban ítems del cuestionario si éste mejoraba su consistencia interna.



**Figura 1.** Sectores Encuestados



**Figura 2.** Profesiones de los Encuestados

El valor inicial del Índice Alfa de Cronbach fue 0.881 y en la Tabla 2 se listan los ítems finales que se fueron eliminados y el valor del índice alfa de Cronbach que se obtenía si se eliminaba éste. Claramente se observa que se mejoraba el valor del IAC. Así, se eliminaron un total de 8 ítems y el análisis factorial se basa en el resto de éstos, solamente 18.

### Viabilidad del Análisis Factorial

Se estimó el determinante de la matriz de correlaciones de las 18 actividades o ítems, el cual tuvo un valor de 9.03E-005 y es muy cercano a cero, lo que indicaba factibilidad del análisis factorial. Este resultado estuvo ratificado por el valor del índice KMO, el cual fue mayor al 0.8 recomendado y la prueba de esfericidad de Barlett, cuya significancia es apropiada. Los resultados se ilustran en la Tabla 3.

**Tabla 2.** Proceso de Eliminación de Ítems

Actividad Eliminada	IAC
¿Se han establecido distribuciones o layout de procesos y las máquinas para que estén en estrecha proximidad unos de los otros?	0.889
¿Los trámites para la obtención de los materiales son burocráticos?	0.892
¿El operario debe esperar demasiado tiempo a que le autoricen la salida del material de almacén?	0.893
¿El operario se ve obligado a sugerir la compra de partes y materiales debido a que éstos no existen en almacén?	0.894
¿La distancia que recorre el responsable de mantenimiento al almacén es mucha?	0.899
¿Se presentan casos en que no se realiza el mantenimiento por falta de partes y materiales?	0.903
¿El operario se ve obligado a sugerir la compra de herramienta adecuada por falta de ésta?	0.908
¿Se presentan casos en que no se realiza el mantenimiento por falta de herramientas?	0.915

**Tabla 3.** KMO y prueba de Bartlett

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.886
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	1798.783
	gl	153
	Sig.	.000

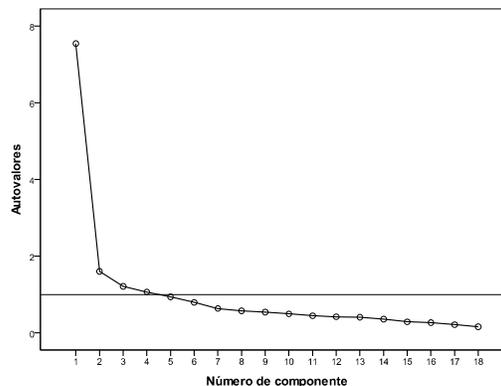
*Aplicación del Análisis Factorial*

Se encontraron cuatro factores que explican el 64.49 % de la varianza contenida en los datos y que tenían un eigenvalor mayor a la unidad. En la Tabla 4 se ilustra el número de factores, la varianza que explica cada uno de éstos y en la Figura 3 se ilustra el grafico de sedimentación, donde claramente se observa que después del 5 factor, los eigenvalores son menores a la unidad.

Así, se tiene que el primer factor puede explicar el 17.74 % de la varianza cuando está rotado, el segundo el 17.582 %, el tercero el 14.31 % y finalmente, el cuarto factor puede explicar el 13.85 %.

**Tabla 4.** Varianza Explicada por los Factores

Autovalores iniciales	Total	7.542	1.603	1.215	1.069
	% de la Varianza	41.898	8.904	6.750	5.941
	% Acumulado	41.898	50.803	57.553	63.494
Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción	Total	7.542	1.603	1.215	1.069
	% de la Varianza	41.898	8.904	6.750	5.941
	% Acumulado	41.898	50.803	57.553	63.494
Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación	Total	3.194	3.165	2.576	2.494
	% de la Varianza	17.747	17.582	14.311	13.853
	% Acumulado	17.747	35.330	49.641	63.494



**Figura 3.** Gráfico de Sedimentación

En la Tabla 5 se ilustran los factores encontrados y se les ha asignado un nombre a los mismos. De la misma manera se han agregado las actividades que las componen y las cargas factoriales de éstas. En los siguientes párrafos se describen brevemente los nombres de los factores encontrados, aunque es importante señalar en que otra persona puede tener una interpretación diferente de los mismos.

**Tabla 5. Factores, Actividades y Cargas Factoriales**

Actividad	CF	Nombre
¿Se está constantemente pensando en la próxima generación de tecnología y su mantenimiento?	.832	Tecnología de procesos
¿La empresa se mantiene a la vanguardia tecnológica del sector?	.723	
¿Son una empresa líder en el uso eficaz de la nueva tecnología y sistemas de mantenimiento?	.711	
Para mantenerse en el ambiente dinámico de globalización, ¿se busca el aprendizaje y la mejora después de la instalación de los equipos?	.596	
¿Están correctamente identificados los códigos para cada pieza o material?	.760	5s en Almacén
¿Se tienen espacios especiales para partes o material que requiere calefacción, refrigeración, etc.?	.713	
¿Se registran los cambios constantes de posición en el área de materiales?	.677	
¿Hay ordenamiento y suficiente espacio para las piezas en el departamento almacén y/o materiales?	.572	
¿Se tienen inspecciones rutinarias en el departamento de materiales para determinar faltantes?	.571	
¿Se trabaja activamente en el mejoramiento de la maquinaria existente?	.545	
¿El posible circular con equipo pesado a través de la planta para realizar mantenimiento?	.819	
¿La distribución de planta facilita el mantenimiento?	.787	
¿Las maquinas están agrupadas de acuerdo a familia de productos a los que se dedican?	.680	
¿Existen señalamientos adecuados en la planta relacionados con el mantenimiento?	.506	5 S en planta
¿Se tiene limpieza regular en el departamento de almacén y/o materiales?	.667	
¿Se cuenta con equipo generado y producido en la empresa, el cual esta patentado?	.642	
¿Se hace uso de software especializado para auxiliar los procesos de mantenimiento?	.588	

*Factores encontrados*

*Factor uno: Tecnología de procesos*

Este factor se relaciona con el tipo de tecnología que se usa en la planta de producción y destacan, según su carga factorial, el pensamiento que se puede tener en relación a la próxima generación de tecnología y su mantenimiento, dado que entre más novedosa sea una tecnología, mas equipada está y por ende tiene más sensores que puedan indicar desperfectos de las mismas. Además, hace énfasis en relación a

la vanguardia que se tiene en tecnología y el uso eficaz de ésta.

*Factor dos: 5s en Almacén*

Este factor se relaciona con el orden y limpieza que se tiene el almacén de componentes o partes. Específicamente se refiere a la importancia que tiene el que se asignen espacios para cada una de las partes que requieren tratos especiales, tales como calefacción, refrigeración, etc. Además, se integra en este factor lo relacionado con el registro o estandarización de la posición que tienen en el almacén las partes.

*Factor tres: Layout o Distribución*

Este factor se refiere a las facilidades que se dan para el mantenimiento pero basadas en la distribución que tienen las máquinas en el área de producción, dado que son relevantes aspectos como la circulación entre los equipos, facilidad para transportar maquinaria y refacciones por los pasillos, etc.

*Factor cuatro: 5 S en planta*

Este factor se relaciona con la limpieza regular que existe dentro del área de producción, los señalamientos que proporcionan ayuda visual e indican salidas de emergencia, entre otras.

## Referencias

Aichlmayr M. 2009. "TPM: Healthcare for Equipment", *Material Handling Management*.64: 18-20.

Aissani, N. Beldjilali B. y Trentesaux D. 2009. *Dynamic scheduling of maintenance tasks in the petroleum industry: A reinforcement approach*. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 22: 1089-1103.

Alsyof I. 2009. *Maintenance practices in Swedish industries: Survey results*. International Journal of Production Economics. 121: 212-223.

Ashayeri J. 2007. *Development of computer-aided maintenance resources planning (CAMRP): A case of multiple CNC machining centers*, Robotics and Computer Integrated Manufacturing. 23: 614-623.

Chan FTS. Lau HCW. Ip RW. Chan LHK. y Kong S. 2005. *Implementation of total productive maintenance: A case study*. International Journal of Production Economics. 95: 71-94.

Chand G. y Shirvani B. 2000. *Implementation of TPM in cellular manufacture*. Journal of Materials Processing Technology. 103: 149-154.

Chandra P. y Shastri T. 1998. *Competitiveness of Indian manufacturing: findings of the 1997 manufacturing futures survey*. Vikalpa. 23: 25-36.

Cooke FL. 2000. *Implementing TPM in plant maintenance: some organizational barriers*. International Journal of Quality & Reliability Management. 17: 1003-1016.

Cronbach LJ. 1951. *Coefficient alpha and the internal structure of tests*. Psychometrika. 16: 297-334.

Cua KO. McKone KE. Schroeder RG. 2001. *Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance*. Journal of Operations Management. 19: 675-694.

Dinesh S. y Tripathi D. 2006. *Critical study of TQM and TPM approaches on business performance of Indian manufacturing industry*, Total Quality Management & Business Excellence.17: 811-824.

Dowlatshahi S. 2008. *The role of industrial maintenance in the maquiladora industry: An empirical analysis*. International Journal of Production Economics. 114: 298-307.

Eti MC. Ogaji SOT. y Probert SD. 2006. *Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture*. Applied Energy. 83: 1235-1248.

Eti MC. Ogaji SOT. y Probert SD. 2004. *Implementing total productive maintenance in Nigerian manufacturing industries*. Applied Energy. 79: 385-401.

Gosavi A. 2006. *A risk-sensitive approach to total productive maintenance*. Automatica. 42: 321-330.

Lévy JP. y Varela M. 2003. *Análisis multivariable para las ciencias sociales*. Madrid: Prentice Hall.

Likert R. 1932. *A Technique for the measurement of attitudes*. Archives of Psychology. 140: 1-55.

McKone KE. Schroeder RG. y Cua KO. 2001. *The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance*. Journal of Operations Management. 19: 39-58.

McKone KE. Schroeder RG. y Cua KO. 1999. *Total productive maintenance: a contextual view*. Journal of Operations Management. 17: 123-144.

Nunally JC. 1978. *Psychometric theory*. New York. McGraw Hill.

Nunally JC. y Bernstein H. 1995. *Teoría psicométrica*. McGraw-Hill Interamericana de México.

Pinjala SK. Pintelon L. y Vereecke A. 2006. *An empirical investigation on the*

*relationship between business and maintenance strategies.* International Journal of Production Economics. 104: 214-229.

Reed R. 1996. *Beyond process: TQM content and firm performance.* Academy of Management Review. 21: 173–202.

Sachdeva A. Kumar D. y Kumar P. 2008. *Planning and optimizing the maintenance of paper production systems in a paper plant.* Computers & Industrial Engineering. 55: 817-829.

Streiner D. y Norman GR. 1995. *Health Measurement Scales. A Practical Guide to their Development and Use.* 2nd ed. Oxford: Oxford University Press.

Tajiri M. y Gotoh F. 1992. *TPM Implementation: A Japanese Approach.* New York: McGraw Hill.

Takahashi Y. y Osada T. 1989. *TPM: Total Productive Maintenance.* MA: Productivity Press.

Vinodh S. 2010. *Improvement of agility and sustainability: A case study in an Indian rotary switches manufacturing organization.* Journal of Cleaner Production. 18: 1015-1020.

Wikoff D. 2007. *Improve all the M's in TPM system.* Plant Engineering. 61: 21-22.

Zhou WH. y Zhu GL. 2008. *Economic design of integrated model of control chart and maintenance management.* Mathematical and Computer Modeling. 47: 1389-1395.