

Factores relacionados con el éxito del mantenimiento productivo total

Factors related with success of total productive maintenance

*Jorge Luis García Alcaraz**

Profesor Investigador, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura en el Instituto de Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. del Charro 450 Norte. C.P. 32310. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

(Recibido el 18 de agosto de 2010. Aceptado el 4 de mayo de 2011)

Resumen

El mantenimiento productivo total (TPM) es una herramienta ampliamente usada en las áreas productivas, encaminada a incrementar la disponibilidad de la maquinaria y equipo de producción y los beneficios económicos de las empresas. Sin embargo, no se conocen los factores administrativos que aseguren su éxito de implantación. En este artículo se presentan los resultados de una encuesta que constó de 20 ítems y fue aplicada a 203 gerentes y supervisores de mantenimiento de empresas localizadas en Ciudad Juárez, la cual debía ser respondida en una escala Likert. El cuestionario se validó mediante el índice Alfa de Cronbach, se aplicó un análisis factorial exploratorio (AFE) mediante el método de componentes principales y se realizó una rotación Varimax y se determinó que solamente 3 factores podían explicar el 65,06% de la varianza total, los cuales estaban relacionados con el compromiso de la gerencia, la cultura de limpieza e integración de operadores en decisiones de TPM. Además, se realizó un análisis factorial confirmatorio (AFC) para validar los resultados obtenidos, confirmándose los hallazgos del AFE.

----- *Palabras clave:* TPM, factores clave del éxito, análisis factorial, modelo de ecuaciones estructurales

Abstract

Total Productive Maintenance (TPM) is one tool widely used in production areas, aimed at increasing the availability of machinery and equipment production and economic benefits of businesses. However, do not know the

* Autor de correspondencia: teléfax: +52 + 656 + 688 48 43, correo electrónico: jorge.garcia@uacj.mx (J. L. García)

key success factors for its implementation. This article presents the results of a survey that consisted of 84 questions and was applied to maintenance managers and supervisors of companies located in Ciudad Juárez, which should be answered on a Likert scale. Exploratory factorial analysis (EFA) was applied to information through the method of principal components and a varimax rotation was conducted and found that only 3 factors could explain the 65,06% of total variance, related to managerial commitment, cleanup culture and integration of operators in maintenance decisions. We also performed a confirmatory factor analysis (CFA) to validate the results, confirming the findings in EFA.

----- **Keywords:** TPM, critical success factors, factor analysis, structural equation models

Introducción

El TPM es en la actualidad uno de las herramientas 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 conjuntamente con TQM (Total Quality Management), el cual se fundamenta en la búsqueda permanente por mejorar los rendimientos de procesos y los medios de producción [1].

TPM es altamente eficaz en empresas que cuentan con muchas operaciones automáticas y secuenciales (empresas intensivas en el uso de maquinaria), ya que combina un conjunto de actividades y técnicas para lograr un mejor aprovechamiento de la capacidad de producción instalada, sin requerir grandes inversiones [1, 2].

TPM no es una idea nueva, es simplemente el siguiente paso en la evolución de las buenas prácticas de mantenimiento [1, 3] y algunas ocasiones se confunde 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 del equipo [1, 4] e integra a cada persona en la organización, desde 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 [1]. Otra meta de TPM es reducir y controlar la variación en el proceso [5].

¿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 [6]: 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 [6, 7]. 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 [8, 9].

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 [9-11]. 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 [12-14]. 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 [15-17].

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 [18], otros reportan el proceso de implantación en una planta industrial de Nigeria y los beneficios que han alcanzado [7], se reporta también cómo se han optimizado secciones de una empresa dedicada a la producción de papel [19], otros realizan un análisis empírico del rol que juega el TPM en la industria maquiladora [17], 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 [20], 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 [21], lo cual ya había sido reportado anteriormente al relacionar los beneficios de TPM, con Justo a Tiempo (JIT) y Control Total de la Calidad [11].

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” [20, 22-24]. 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 administrativos, lo cual ayudará a las empresas a realizar una mejor planeación de los procesos de adopción de esta técnica.

Metodología

La metodología empleada en esta investigación ha implicado el diseño de un instrumento de recolección de datos e identificación de atributos administrativos que son considerados 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

Esta etapa se focalizó en una revisión bibliográfica para determinar las investigaciones relacionadas con el problema y determinar las

actividades administrativas que se deben realizar para garantizar el éxito de TPM, encontrándose referencia a diecisiete de éstas, con las cuales 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 y que no aparecían en el

cuestionario. Un total de tres nuevas actividades fueron identificadas, teniéndose un total de veinte actividades.

Las veinte actividades se listan en la tabla 1 junto con una abreviatura que será usada a lo largo de este trabajo y debían ser contestados por los encuestados en una escala Likert [25] con valores entre uno y cinco. El uno indicaba nula importancia, mientras que el cinco, la importancia extrema.

Tabla 1 Actividades y sus abreviaciones

<i>Abreviación</i>	<i>Ítem</i>
HerraLugar	Poner todas las herramientas y accesorios en su lugar
TjoLimOrde	Mantener áreas de trabajos limpios y ordenados
EmpDtoLimp	Empresa limpia en todo momento y en todos los departamentos
EntrMultTar	Entrenamiento para que empleados realicen adecuadamente múltiples tareas
EmplRespMtto	Responsabilidad de empleados en el mantenimiento de las máquinas que operan
EmplSuplir	Entrenamiento de empleados para que puedan suplir a otros si es necesario
EmplIdeaMantto	Los operadores proporcionen opiniones e ideas antes de tomar una decisión relacionada con mantenimiento
BitMaq	Llevar una bitácora de trabajo y mantenimiento de cada máquina
ConcenMatto	Programación de mantenimiento en consenso con el departamento de producción
ProgMtoOpera	Programación del mantenimiento de máquinas con opinión de los operadores
OperOpiBita	Cooperación del operador en redacción de los reportes en bitácora
OperSolMto	El operador solicita manteniendo directamente al departamento
OperStopProd	El operador detiene una línea de producción si detecta problemas de mantenimiento
GerenEjem	La alta gerencia es ejemplo del orden y limpieza en el área de trabajo
JefesRespMto	Los jefes de departamento aceptan su responsabilidad hacia el TPM
LiderMto	Liderazgo de la alta gerencia en la ejecución de los programas de TPM
ReuProdMto	Reuniones de trabajo entre el departamento de mantenimiento y producción
DirPromParTrab	Promoción por la gerencia de la participación de trabajadores en mantenimiento y conservación del equipo
VisCaLYMto	Creación y comunicación de la dirección de una visión centrada en calidad y mantenimiento
DirInvolMto	Involucramiento de la dirección en proyectos de mantenimiento

Segunda etapa: aplicación del cuestionario

En esta etapa se contactó 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. Se acordó realizar un total de tres visitas a los posibles encuestados, después de esto, si no se lograba conseguir la información, ese caso era abandonado por requerir de mucho tiempo.

Tercera etapa: captura de la información y validación del instrumento

En esta etapa se capturó y analizó la información en el software SPSS 18. Para la validación del cuestionario se usó el índice Alfa de Cronbach y se validó el resultado obtenido comparándolo con el generado al realizar la partición de la muestra en mitades, obteniéndose el índice Alfa de Cronbach nuevamente [26].

Cuarta etapa: análisis factorial exploratorio

En esta etapa se determinó la factibilidad del análisis factorial, se analizó la matriz de correlaciones [27, 28]; asimismo, se obtuvo el índice KMO (Kaiser, Meyer, Olkin), se aplicó la prueba de esfericidad de Bartlett y se analizaron las comunalidades de cada una de las actividades para analizar su contribución, estableciendo a 0,5 como punto de corte [29].

Para determinar los factores críticos o variables latentes, se realizó un análisis factorial por el método de componentes principales y se consideraron como importantes aquellos factores con un valor mayor o igual a la unidad en sus Eigenvalores [30]. Además, con la finalidad de obtener una mejor interpretación de los factores, se realizó una rotación por el método Varimax [29].

Quinta etapa: análisis factorial confirmatorio

En esta etapa se realizó un análisis factorial confirmatorio (AFC) usando el software AMOS 18. Para validar las relaciones entre variables y factores, se analizó el valor de los parámetros obtenido, el error estándar de los mismos y la relación crítica de cada estimación, haciendo inferencias al 95% de confianza para determinar si éstos eran triviales o no [31, 32].

Con la finalidad de medir la eficiencia del AFC se usó el mínimo valor de la chi-cuadrada, χ^2 (CMIN), los grados de libertad del modelo (DF) y la relación de estos dos parámetros (CMIN/DF) [33, 36]. Además, con la finalidad de tener un modelo suficientemente explicativo, se usó el índice de bondad de ajuste (GFI) [31, 32], el cual es una medida de eficiencia y se recomienda que tenga valores superiores a 0,9.

Se generaron varios modelos, los cuales se mejoraron iterativamente en función de los índices de modificación, añadiendo relaciones que reducían el valor de la χ^2 (error del modelo) y con la pérdida mínima de grados de libertad [37]. Así mismo, se observó la mejoría en la probabilidad del error tipo I (p), el cual fue diferente en cada modelo [38-40]. También, se analizó el índice comparativo de ajuste (CFI) con la finalidad de analizar la mejoría entre un modelo y otro, aceptando los cambios si la diferencia del CFI es mayor a 0,01 [41, 42] y se buscó mantener una medida aceptable de la raíz cuadrada media residual (RMR), la cual debe ser menor a 0,05 [43].

Con la finalidad de observar la adecuación del tamaño de la muestra en cada modelo y asegurar que las modificaciones eran validas y no se violara la restricción de su tamaño, se analizó el índice crítico N de Hoelter a un nivel de confianza del 95% [44].

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 maquiladoras ubicadas en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, de los cuales, 68 pertenecían a gerentes o superintendentes de mantenimiento y el resto, 135, a supervisores del mismo área. En la figura 1 se ilustra el sector al que estaban adscritos los encuestados, donde se observa que sobresale el automotriz y el de eléctrica/electrónica.

De la misma manera, en la figura 2 se exponen las profesiones que tenían los encuestados. Se observa 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.

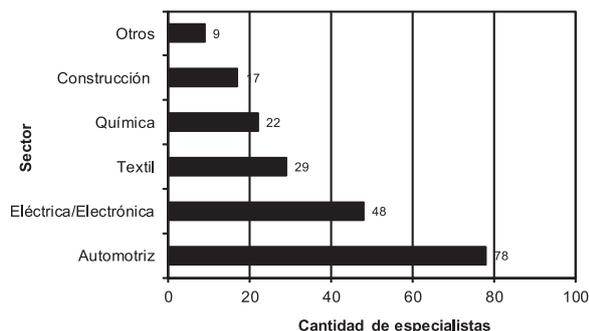


Figura 1 Sectores encuestados

Validación del cuestionario, construcción de escala e identificación de ítems

Se obtuvo el índice Alfa de Cronbach a los veinte 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.

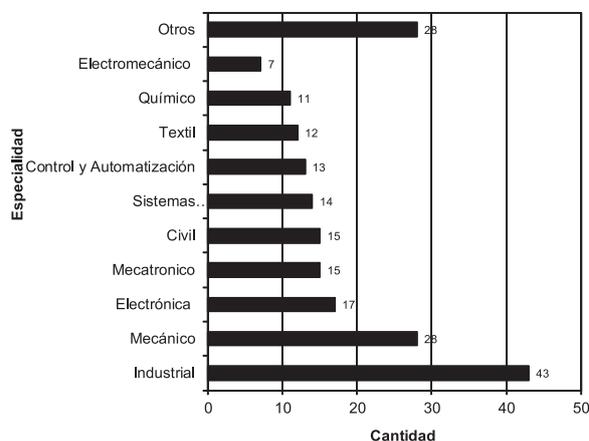


Figura 2 Profesiones de los encuestados

En la tabla 2 se listan los veinte ítems iniciales en la primera columna y después, se ilustran las diferentes iteraciones y el valor del índice alfa de Cronbach si ese ítem es eliminado. De ese proceso iterativo se eliminaron las variables BitMaq, OperStopProd, EmpIdeaMantto, Empl-RespMtto y ConcenMatto, mismas que se ilustran con un asterisco (*), quedando solamente quince variables, que son la base de los análisis subsecuentes.

Tabla 2 Validación del instrumento y construcción de escala

Ítem	Alfa de Cronbach si el ítem es eliminado (Iteración)					
	1	2	3	4	5	6
1. HerraLugar	0,912	0,912	0,911	0,911	0,912	0,912
2. TjoLimOrde	0,912	0,912	0,912	0,911	0,912	0,912
3. EmpDtoLimp	0,911	0,911	0,911	0,91	0,911	0,911
4. EntrMultTar	0,91	0,909	0,909	0,908	0,909	0,909

Continuación Tabla 2

Ítem	Alfa de Cronbach si el ítem es eliminado (Iteración)					
	1	2	3	4	5	6
5. EmplSuplir	0,911	0,911	0,911	0,911	0,912	0,912
6. ProgMtoOpera	0,912	0,912	0,911	0,911	0,912	0,913
7. OperOpiBit	0,913	0,913	0,912	0,912	0,914	0,914
8. OperSolMto	0,912	0,912	0,912	0,911	0,912	0,913
9. GerenEjem	0,913	0,913	0,912	0,912	0,913	0,913
10. JefesRespMto	0,908	0,907	0,906	0,905	0,906	0,906
11. LiderMto	0,906	0,906	0,905	0,904	0,904	0,903
12. ReuProdMto	0,908	0,908	0,907	0,906	0,907	0,907
13. DirPromParTrab	0,908	0,907	0,906	0,905	0,905	0,905
14. VisCalYMto	0,908	0,907	0,906	0,905	0,905	0,905
15. DirInvolMto	0,909	0,908	0,908	0,907	0,907	0,907
16. EmplRespMtto	0,914	0,914	0,914	0,915*		
17. EmpldeaMantto	0,915	0,915	0,915*			
18. BitMaq	0,915*					
19. ConcenMatto	0,914	0,915	0,915	0,914	0,915*	
20. OperStopProd	0,915	0,915*				
Alfa de Cronbach Total	0,915	0,915	0,915	0,915	0,915	0,915

Análisis factorial exploratorio

Se obtuvo un índice KMO (Kaiser-Mayer-Olkin) con valor de 0,898 y la prueba de esfericidad de Bartlett dio un valor de Chi-cuadrada aproximada de 1762,206 con 105 grados de libertad, lo que representa una significancia de 0,000 y el valor del determinante de la matriz de correlación fue de 0,000. Con ello se determinó la factibilidad del AFE.

En el AFE se consideró solamente a los factores con un eigenvalor mayor a la unidad, por lo que se construyó un gráfico de sedimentación, mismo que se ilustra en la figura 3, donde se observa que los Eigenvalores después del cuarto factor, son menores a la unidad. Así, en lo sucesivo se analizan solamente los primeros tres componentes y en la tabla 3 se ilustra el valor de cada uno de los

Eigenvalores, la varianza explicada por cada uno de ellos y la varianza acumulada.

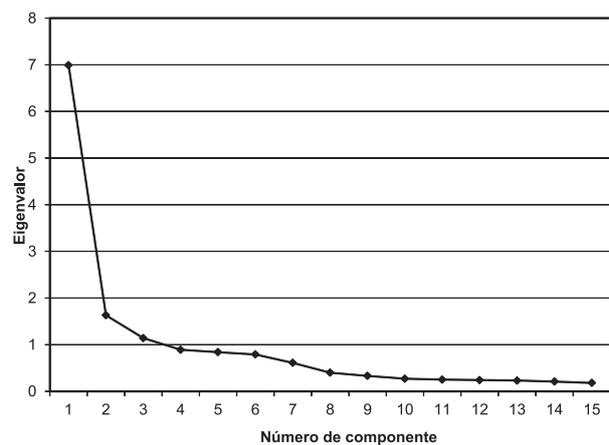


Figura 3 Gráfico de sedimentación

Tabla 3 Varianza total explicada

Componente	Eigenvalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	6,99	46,63	46,63	4,48	29,85	29,85
2	1,63	10,86	57,48	3,12	20,78	50,63
3	1,14	7,57	65,06	2,16	14,43	65,06

Así, se observa que con solo tres componentes se logra explicar el 65,06% de la varianza total contenida en los quince ítems analizados; específicamente, con la rotación realizada, el primer componente explica el 29,85% de la

variabilidad, el segundo el 20,78% y el tercero el 14,43%. Con la información anterior, se procedió a identificar los ítems que conformaban cada factor. La matriz de componentes rotados se ilustra en la tabla 4 con una breve descripción de los mismos.

Tabla 4 Descripción de los componentes

Ítem	Carga factorial	Descripción del Componente
LiderMto	0,822	<i>Compromiso gerencial.</i> Este componente se relaciona con el nivel de compromiso que tiene la alta gerencia y los jefes de departamento para alcanzar los objetivos planeados en relación a TPM, dado que integra aspectos relacionados con el liderazgo que se establece, la estrategia de aplicación de la técnica TPM y su relación con la calidad, la responsabilidad con la que enfrentan los objetivos de TPM y las reuniones de trabajo que se realizan entre los departamentos involucrados. Además, expone claramente el rol de la gerencia en la aplicación de TPM, ya que integra aspectos de involucramiento de la dirección de proyectos encaminados a lograr mejor calidad en los productos terminados y procesos por medio de TPM, involucrando a los operadores de máquinas y brindando la debida autoridad a este mismo.
VisCalYMto	0,813	
JefesRespMto	0,806	
ReuProdMto	0,797	
DirPromParTrab	0,729	
DirInvolMto	0,700	
OperSolMto	0,502	
TjoLimOrde	0,893	<i>5s.</i> Este componente se relaciona con el orden y limpieza que se tiene en el departamento de mantenimiento y en todos los demás, lo cual incluye que cada uno de los operadores de máquinas y responsables de TPM depositen las herramientas en su lugar, baúles o estantes. Esta práctica en lenguaje coloquial de ingeniería es conocida como 5s. Además, aparece un ítem relacionado con el desempeño de tareas múltiples por parte de los operadores, lo cual indica que éste puede desempeñarse en varios puestos de trabajo.
EmpDtoLimp	0,825	
HerraLugar	0,753	
EntrMultTar	0,603	
OperOpiBita	0,863	<i>Integración de operarios en TPM.</i> Este componente se relaciona con la participación del operario en aspectos relacionados con TPM, tales como la colaboración en el llenado de bitácora de las máquinas que operan e integrar su opinión en la programación de los mantenimientos mayores.
ProgMtoOpera	0,804	
EmplSuplir	0,562	

Análisis factorial confirmatorio

Se generaron siete modelos de ecuaciones estructurales, el modelo uno o inicial es una representación de los resultado obtenidos en el AFE (figura 4) y tenía un valor de CMIN de 228,74 con 74 grados de libertad y su relación fue de 3,091. El índice de bondad de ajuste (GFI) era de 0,862 y el índice comparativo (CFI) de 0,906; sin embargo, el cuadrado del error (RMSEA) fue de 0,102, mayor al 0,05 permitido y la muestra mínima que se requería era de 84 para este modelo y se tenían un total de 203 encuestas validas.

Se analizaron los índices de modificación del modelo uno y se observó que el error del ítem LiderMto (F1) y JefesRespMto (F3) se autocorrelacionaban o que los encuestados se confundían al dar respuestas a éstos, por lo que se agregó una relación de covarianza entre estos errores, generando así el modelo dos y sus índices de eficiencia se mejoraron considerablemente. Nuevamente se analizaron los índices de modificación y se realizaron los ajustes necesarios hasta llegar al modelo seis. Los índices de eficiencia de éstos se ilustran en la tabla 5.

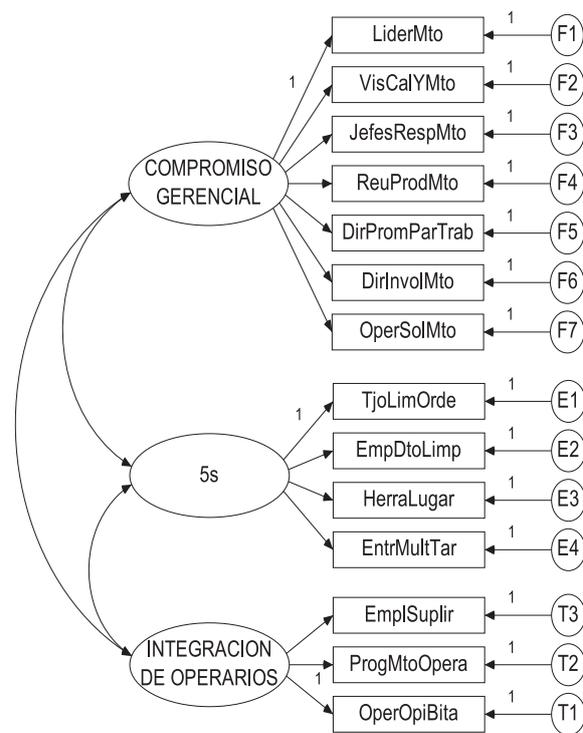


Figura 4 Modelo inicial (Uno)

Tabla 5 Indices de eficiencia de los modelos

Modelo	CMIN	DF	CMIN/DF	GFI	CFI	RMSEA	HOELTER 95
1	228,74	74	3,091	0,862	0,906	0,102	84
2	176,76	73	2,421	0,891	0,937	0,084	108
3	135,69	72	1,885	0,915	0,961	0,066	139
4	127,13	71	1,791	0,920	0,966	0,0633	146
5	108,26	70	1,547	0,931	0,977	0,052	169
6	94,8	69	1,369	0,939	0,985	0,043	192
7	79,7	68	1,164	0,947	0,993	0,029	226

En general, todos los parámetros indicaban buena eficiencia de los modelos, sin embargo RMSEA alcanzó valores inferiores a 0,05 hasta el modelo seis y la muestra requerida fue de 192 elementos. Se realizó un séptimo modelo y se observó mejoría, sin embargo, se requería una muestra de 226 y solo se tenían 203, por lo que el modelo seis es el más eficiente de todos.

En la tabla 6 se ilustran los valores estimados del modelo seis que se representa en la figura 5, se ilustran las variables dependientes e independientes y el sentido de la relación, donde ENE indica los estimados no estandarizados, ES es el error estándar del parámetro estimado, RC es la relación crítica del estimador, EE es el estimado estandarizado y CC es el coeficiente

de correlación de la variable dependiente en función de las variables independientes y el error de estimación. Es fácil observar que todos los

valores de las RC son mayores a 1.96, por lo que se concluye que todos los parámetros ENE son diferentes a cero y por ende, son significativos.

Tabla 6 Valores estimados de parámetros y relaciones

<i>Variable dependiente</i>	<i>Relación</i>	<i>Variable independiente</i>	<i>ENE</i>	<i>ES</i>	<i>RC</i>	<i>EE</i>	<i>CC</i>
Emplsuplir	<---	Integracion_de operarios	0,551	0,086	6,41	0,5	0,25
Lidermto	<---	Compromiso_gerencia	1			0,86	0,74
Viscalymto	<---	Compromiso_gerencia	0,89	0,062	14,255	0,825	0,681
Jefesrespmt	<---	Compromiso_gerencia	0,905	0,049	18,466	0,779	0,607
Reuprodmt	<---	Compromiso_gerencia	0,93	0,07	13,276	0,791	0,625
Dirprompartrab	<---	Compromiso_gerencia	0,858	0,067	18,6	0,776	0,602
Dirinvolmto	<---	Compromiso_gerencia	0,898	0,078	12,80	0,763	0,583
Opersolmto	<---	Compromiso_gerencia	0,681	0,082	8,303	0,554	0,307
Tjolimorde	<---	5s	1			0,848	0,719
Empdtolimp	<---	5s	1,017	0,076	13,359	0,885	0,782
Herralugar	<---	5s	1,069	0,09	11,812	0,818	0,669
Entrmulttar	<---	5s	0,573	0,075	7,683	0,48	0,43
Operopibita	<---	Integracion_de operarios	1			0,799	0,638
Progmtopera	<---	Integracion_de operarios	0,918	0,093	9,848	0,808	0,652
Entrmulttar	<---	Emplsuplir	0,324	0,049	6,559	0,376	0,430

Conclusiones y recomendaciones

En base al análisis factorial exploratorio aplicado a la información y los resultados obtenidos, se concluye que los principales factores de éxito de TPM de tipo administrativo son el compromiso de la alta gerencia, las 5s y el involucramiento de los operarios en aspectos administrativos de TPM. Del análisis factorial confirmatorio se validó que la información obtenida en el análisis factorial exploratorio era verdadera, pero se encontró

que una serie de ítems se autocorrelacionan y que por ende se traslapan en su contenido. Se recomienda continuar el análisis de la información obtenida, buscando integrar los ítems que se autocorrelacionan en uno solo y hacer uso de las comparaciones apareadas de los valores de los parámetros para identificar aquellos que son iguales y mejorar los grados de libertad con que se hacen las inferencias. Además, se recomienda aplicar esta misma encuesta a los trabajadores

responsables de realizar el mantenimiento en las máquinas y operadores de las mismas.

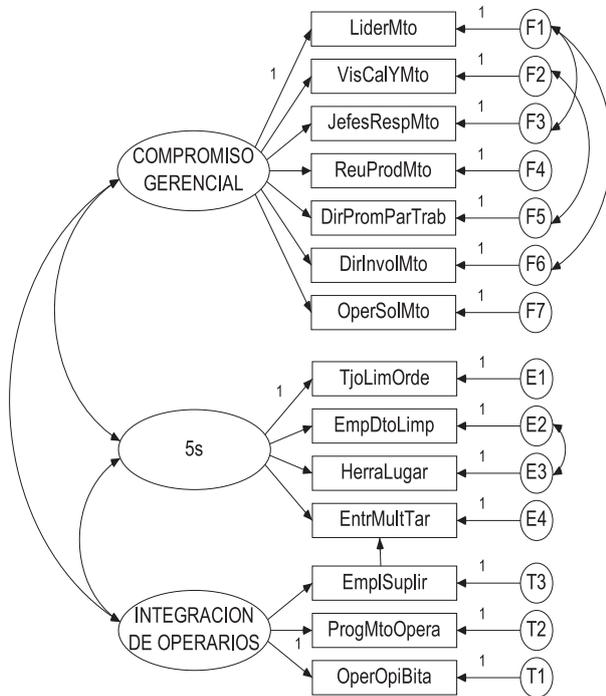


Figura 5 Modelo final (Seis)

Referencias

1. D. Wikoff. "Improve all the M's in TPM system". *Plant Engineering*. Vol. 61. 2007. pp. 21-22.
2. F. L. Cooke. "Implementing TPM in plant maintenance: some organizational barriers". *International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol. 17. 2000. pp. 1003-1016.
3. S. Dinesh, D. Tripathi. "Critical study of TQM and TPM approaches on business performance of Indian manufacturing industry". *Total Quality Management & Business Excellence*. Vol. 17. 2006. pp. 811-824.
4. P. Chandra, T. Shastri. "Competitiveness of Indian manufacturing: findings of the 1997 manufacturing futures survey". *Vikalpa*. Vol. 23. 1998. pp. 25-36.
5. R. Reed. "Beyond process: TQM content and firm performance". *Academy of Management Review*. Vol. 21. 1996. pp. 173-202.
6. M. Tajiri, F. Gotoh. *TPM Implementation: A Japanese Approach*. Ed. McGraw Hill. New York, USA. 1992. pp. 218-232.

7. M. C. Eti, S. O. T. Ogaji, S. D. Probert. "Implementing total productive maintenance in Nigerian manufacturing industries". *Applied Energy*. Vol. 79. 2004. pp. 385-401.
8. Y. Takahashi, T. Osada. *TPM: Total Productive Maintenance*. Ed. Productivity Press. New York, USA. 1989. pp. 28-36.
9. F. T. S. Chan, H. C. W. Lau, R. W. Ip, L. H. K. Chan, S. Kong. "Implementation of total productive maintenance: A case study". *International Journal of Production Economics*. Vol. 95. 2005. pp. 71-94.
10. G. Chand, B. Shirvani. "Implementation of TPM in cellular manufacture". *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 103. 2000. pp. 149-154.
11. K. O. Cua, K. E. McKone, R. G. Schroeder. "Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance". *Journal of Operations Management*. Vol. 19. 2001. pp. 675-694.
12. A. Gosavi. "A risk-sensitive approach to total productive maintenance". *Automatica*. Vol. 42. 2006. pp. 321-330.
13. K. E. McKone, R. G. Schroeder, K. O. Cua. "The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance". *Journal of Operations Management*. Vol. 19. 2001. pp. 39-58.
14. M. Aichlmayr. "TPM: Healthcare for Equipment". *Material Handling Management*. Vol. 64. 2009. pp. 18-20.
15. J. Ashayeri. "Development of computer-aided maintenance resources planning (CAMRP): A case of multiple CNC machining centers". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. Vol. 23. 2007. pp. 614-623.
16. I. Alsayouf. "Maintenance practices in Swedish industries: Survey results". *International Journal of Production Economics*. Vol. 121. 2009. pp. 212-223.
17. S. Dowlatshahi. "The role of industrial maintenance in the maquiladora industry: An empirical analysis". *International Journal of Production Economics*. Vol. 114. 2008. pp. 298-307.
18. K. E. McKone, R. G. Schroeder, K. O. Cua. "Total productive maintenance: a contextual view". *Journal of Operations Management*. Vol. 17. 1999. pp. 123-144.
19. A. Sachdeva, D. Kumar, P. Kumar. "Planning and optimizing the maintenance of paper production systems in a paper plant". *Computers & Industrial Engineering*. Vol. 55. 2008. pp. 817-829.

20. S. K. Pinjala, L. Pintelon, A. Vereecke. "An empirical investigation on the relationship between business and maintenance strategies". *International Journal of Production Economics*. Vol. 104. 2006. pp. 214-229.
21. S. Vinodh. "Improvement of agility and sustainability: A case study in an Indian rotary switches manufacturing organization". *Journal of Cleaner Production*. Vol. 18. 2010. pp. 1015-1020.
22. M. C. Eti, S. O. T. Ogaji, S. D. Probert. "Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture". *Applied Energy*. Vol. 83. 2006. pp. 1235-1248.
23. W. H. Zhou, G. L. Zhu. "Economic design of integrated model of control chart and maintenance management". *Mathematical and Computer Modeling*. Vol. 47. 2008. pp. 1389-1395.
24. N. Aissani, B. Beldjilali, D. Trentesaux. "Dynamic scheduling of maintenance tasks in the petroleum industry: A reinforcement approach". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Vol. 22. 2009. pp. 1089-1103.
25. R. Likert. "A Technique for the measurement of attitudes". *Archives of Psychology*. Vol. 140. 1932. pp. 1-55.
26. L. J. Cronbach. "Coefficient alpha and the internal structure of tests". *Psychometrika*. Vol. 16. 1951. pp. 297-334.
27. J. C. Nunnally. *Psychometric theory*. Ed. McGraw Hill. New York, USA. 1978. pp. 133-145.
28. J. C. Nunnally, H. Bernstein. *Teoría psicométrica*. Ed. McGraw-Hill Interamericana de México. México, D.F. 1995. pp. 138-149.
29. J. P. Lévy, M. Varela. *Análisis multivariable para las ciencias sociales*. 2ª ed. Ed. Prentice Hall. Madrid, España. 2003. pp. 38-49.
30. D. Streiner, G. R. Norman. *Health Measurement Scales. A Practical Guide to their Development and Use*. 2nd ed. Ed. Oxford University Press. Oxford. 1995. pp. 211-218.
31. K. G. Jöreskog, D. Sörbom. *LISREL-VI user's guide*. 3rd ed. Ed. Scientific Software. Sandy, Utah. 1984. pp. 22-34.
32. J. S. Tanaka, G. J. Huba. "A fit index for covariance structure models under arbitrary GLS estimation". *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*. Vol. 38. 1985. pp. 197-201.
33. B. Wheaton, B. Muthén, D. F. Alwin, G. F. Summers. "Assessing reliability and stability in panel models". *Sociological methodology*. D. R. Heise (editor). Ed. Jossey-Bass. San Francisco. 1977. pp. 84-136.
34. E. G. Carmines, J. P. McIver. "Analyzing models with unobserved variables". *Social measurement: Current issues*. G.W. Bohrnstedt, E. F. Borgatta (editors). Ed. Sage. Beverly Hills, CA. 1981. pp. 41-44.
35. H. W. Marsh, D. Hocevar. "Application of confirmatory factor analysis to the study of self-concept: First- and higher-order factor models and their invariance across groups". *Psychological Bulletin*. Vol. 97. 1985. pp. 562-582.
36. B. M. Byrne. *A primer of LISREL: Basic applications and programming for confirmatory factor analytic models*. First edition. Ed. Springer-Verlag. New York. 1989. pp. 122-135.
37. K. G. Jöreskog, D. Sörbom. *LISREL-7 user's reference guide*. Ed. Scientific Software. 2nd ed. Sandy, Utah. 1989. pp. 35-47.
38. W. G. Cochran. "The χ^2 test of goodness of fit". *Annals of Mathematical Statistics*. Vol. 23. 1952. pp. 315-345.
39. H. Gulliksen, J. W. Tukey. "Reliability for the law of comparative judgment". *Psychometrika*. Vol. 23. 1958. pp. 95-110.
40. K. G. Jöreskog. "A general approach to confirmatory maximum likelihood factor analysis". *Psychometrika*. Vol. 34. 1969. pp. 183-202.
41. P. M. Bentler. "Comparative fit indexes in structural models". *Psychological Bulletin*. Vol. 107. 1990. pp. 238-246.
42. R. P. McDonald, H. W. Marsh. "Choosing a multivariate model: Noncentrality and goodness of fit". *Psychological Bulletin*. Vol. 107. 1990. pp. 247-255.
43. M. W. Browne, R. Cudeck. "Alternative ways of assessing model fit". *Testing structural equation models*. K. A. Bollen, J. S. Long (editors). Ed. Sage. Newbury Park, California. 1993. pp. 136-162.
44. K. A. Bollen, J. Liang. "Some properties of Hoelter's CN". *Sociological Methods and Research*. Vol. 16. 1988. pp. 492-503.