

La combinación del TPM y del RCM. Estudio de un caso práctico

Ron Moore y Ron Rath

1. Introducción

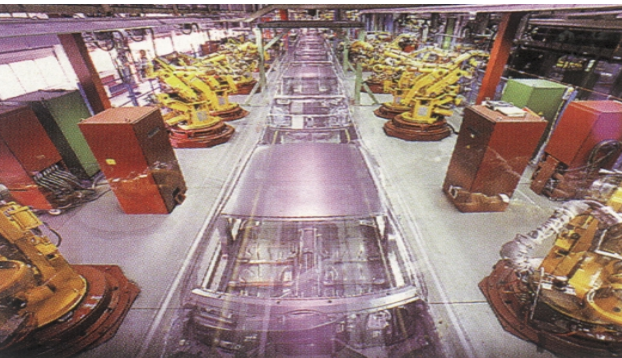
Una gran planta de piezas de automóvil ha iniciado recientemente el proceso de introducir una serie de tecnologías para elevar la producción. Uno de los medios aplicados en esta planta es el TPM, aunque prestando especial atención al Mantenimiento Planificado realizado con cuidado y meticulosidad por el operador o, como le llaman algunos, el TLC (*Tender Loving Care*, es decir, Atención Cuidadosa y Meticulosa), bajo la forma de acciones de tipo apriete, lubricación y limpieza. También se están introduciendo y aplicando con carácter integrado otros medios, como la constitución de equipos de personal para realizar mejoras continuas, diseños de células perfeccionados, planificación de los procesos, etc., pero el caso práctico al que nos vamos a referir aquí se enfoca en la integración del TPM al RCM.

La aplicación del TPM en esta planta y, por lo que el autor sabe, en otras, ha dirigido casi toda su atención al PM y al cuidado básico del que es responsable el operador, al "control del estado" que ejerce éste, etc. Estas prácticas son fundamentales para garantizar una elevada calidad de fabricación, pero es probable que utilizadas por sí solas no sean suficientes. En el caso que nos ocupa, se pensó que el enfoque en el TPM no prestaba la consideración debida a otras metodologías tal vez igualmente válidas o, incluso, más avanzadas, como son el mantenimiento centrado en la fiabilidad, el mantenimiento predictivo, los análisis de

las causas primeras, la planificación del mantenimiento, etc. Esta opinión fue confirmada por el director de mantenimiento de la empresa, que consideraba que aunque el TPM es una herramienta eficaz para asegurar el cuidado básico del equipo, detectar la iniciación de averías y, en muchos casos, evitarlas desde el primer momento, era frecuente que no se considerasen otros medios y necesidades de mantenimiento, por no hablar de la pérdida más grave: la reducción de capacidad productiva. En vista de ello, decidimos esforzarnos por combinar lo mejor del TPM y del RCM para que el personal de mantenimiento y de producción pudieran ofrecer los procesos más efectivos. Al mismo tiempo, esperábamos poder llegar a un alto nivel de calidad de producción con un máximo tiempo productivo, un mínimo coste unitario de producción y una fiabilidad de equipos máxima. A continuación, examinaremos cada tecnología por separado y después el proceso de su combinación.

2. Los principios del Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El Mantenimiento Productivo Total (TPM), como se le llama genéricamente, consiste en una estrategia destinada a elevar la productividad mejorando el mantenimiento y las prácticas correspondientes. Hoy se le reconoce ya como una excelente



Una reciente experiencia en una gran fábrica de automóviles demuestra cómo combinar el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM). La combinación de estos dos procedimientos ha llevado a una mejora del proceso al facilitar el trabajo en equipo, entre las funciones de mantenimiento y producción, a una mayor fiabilidad y más tiempo productivo de los equipos y a menores costes de explotación. Este artículo describe el proceso utilizado, los resultados conseguidos hasta la fecha y los proyectos para el futuro.

herramienta para aumentar la productividad, la capacidad y el trabajo en equipo en una compañía manufacturera. Sin embargo, el entorno cultural en el que se desarrolló la estrategia del TPM puede ser distinto del existente en una planta típica que no sea norteamericana, y por ello exige otras consideraciones.

El TPM lo desarrolló Seiichi Nakajima en Japón. Por su origen japonés, la estrategia correspondiente atribuye un alto valor al trabajo en equipo, a los proyectos realizados por acuerdo común y a una mejora constante; este procedimiento tiende a ser más estructurado desde el punto de vista de su estilo cultural: todo el mundo comprende su misión y, por lo general, actúa según un protocolo asumido. El trabajo en equipo está muy valorado, mientras que el individualismo es objeto de desaprobación. La génesis básica que subyace en la estrategia del TPM japonés es una cuestión de gran relevancia que hay que comprender cuando el TPM se aplica a una determinada planta manufacturera, lo cual es especialmente cierto si ésta es norteamericana, porque la cultura de este país tiende a otorgar más valor al individualismo. Tiende además a distinguir a quien tiene capacidad de gestión para resolver una crisis, a los que se muestran a la altura de las circunstancias, y a quienes aceptan retos aparentemente insuperables y salen airoso de ellos. Nosotros tendemos a premiar a los que responden rápidamente a las crisis y las resuelven con la misma disposición con que desestimamos a quienes se limitan simplemente a "hacer un buen trabajo". Son estos últimos personas no particularmente visibles: "no hay chirridos y, por tanto, no hace falta engrase". Esta "adoración del héroe", este individualismo, puede ser parte inherente de nuestra cultura y dificultar más la realización del TPM.

Esto no quiere decir que el TPM se enfrente a impedimentos excesivamente graves ni que sea

un procedimiento ineficaz en una fábrica no japonesa. Todo lo contrario: cuando el personal directivo de una organización ha manifestado abiertamente que el éxito de ella es más importante que el individuo sin dejar de reconocer las contribuciones individuales, puede desarrollarse una cultura empresarial orientada al trabajo en equipo que trascienda la tendencia a la cultura individualista y haga más probable el éxito. Muchas plantas de todo el mundo vienen usando el TPM con gran eficacia, pero la mayor parte de las existentes tienen una enorme necesidad de mejorar sus procedimientos de comunicación y el trabajo en equipo, lo cual podría facilitarse con la metodología TPM. Casi todas las plantas se encontrarían en mejor situación con menos héroes y con una capacidad de producción más fiable. Ya se ha avanzado considerablemente con la aplicación de programas y estrategias como la del TPM, pero sigue siendo evidente que en muchas plantas existen todavía fuertes barreras para la comunicación y el trabajo en equipo.

No han sido pocas las veces que hemos oído decir al personal de operaciones: "*bastaría con que los de mantenimiento reparasen los equipos correctamente para que se pudiera aumentar la producción*", y a la gente de mantenimiento: "*si los de operaciones no dejasen trabajar a los equipos hasta destrozarlos y dieran tiempo suficiente para hacer las adecuadas reparaciones, podríamos aumentar la producción*", o a los ingenieros: "*si se operasen y mantuviesen bien los equipos, sería posible el aumento de la producción, porque esos equipos están perfectamente diseñados (esto es lo que piensan)*", y así sucesivamente. La verdad está "a medio camino", entendiéndose por medio camino la condición creada por el trabajo en equipo combinada con la contribución y responsabilidad individuales y con una comunicación efectiva. Veamos ahora un caso práctico de seguimiento de este medio camino.

El Mantenimiento Productivo To-

tal es aquel en el que, como su denominación implica, todas las actividades de mantenimiento deben ser productivas y dar lugar a aumentos de producción. El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad connota una función de mantenimiento enfocada a la consecución de la fiabilidad de los equipos y de los sistemas. Como veremos, el RCM requiere también un análisis para determinar las necesidades de mantenimiento. Combinados adecuadamente, funcionan ambos bien.

2.1. Los pilares básicos del TPM y algunas ideas sobre su relación con una estrategia de RCM

a) En virtud del TPM, el equipo debe restablecerse a un estado en que quede como nuevo. A este proceso pueden contribuir sustancialmente los operadores y el personal de producción. Al mismo tiempo, según algunos estudios de RCM, el 67%, aproximadamente, de las averías de los equipos pueden producirse en las circunstancias que llamaríamos de "*mortalidad infantil*", es decir, al instalarlos o ponerlos en servicio, o poco después. Unas buenas prácticas de TPM contribuirán a reducir al mínimo estos problemas a base de restablecer el equipo a la condición de nuevo y de que el operador aplique el cuidado básico. Sucede, no obstante, que en muchos casos pueden ser necesarias unas prácticas más avanzadas como, por ejemplo, una estricta puesta en servicio del equipo y del proceso, el uso de herramientas de control de estado y métodos normalizados, como instrumentos y *software* de análisis de vibraciones, aceite, infrarrojos, etc., para verificar ese estado de "*como nuevo*". Aquí también puede ser especialmente importante comprender los modos y efectos de los fallos para que tanto la sección de operaciones como la de producción tomen las medidas adecuadas para aliviar o eliminar esos modos de fallo. Habrá muchos que digan que el TPM exige la aplicación del manteni-

miento predictivo o control de estado. Sin embargo, según la experiencia del autor, esto tiende a ser muy limitado y lo más general es que sólo se refiera al "control del estado" que realiza el operador, es decir, a mirar, tocar, apreciar al tacto, etc., lo cual, evidentemente, es una buena práctica pero a veces resulta insuficiente. Además, el control del estado, tal como se practica con el TPM, puede no tener fundamentos sólidos, como es el análisis de los modos de fallos, que lleva a la aplicación de la tecnología específica. Por ejemplo, afirmaciones tales como "*es un cojinete y nosotros hacemos análisis de vibraciones de los cojinetes*" sin definir si los modos de fallo requieren técnicas espectrales, generales, de impulsos de excitación, etc., pueden no constituir un método de análisis apropiado de la máquina que se trate. Podrían darse otros ejemplos, pero éste debe ser suficiente para aclarar lo que se pretende.

b) El TPM requiere que el operador intervenga en el mantenimiento del equipo. Esto es una necesidad rigurosa en una planta moderna. Pero muchas veces el operador tiene que recurrir a personal especializado en tecnologías más avanzadas cuando empieza a desarrollarse un problema en la máquina. Estos especialistas pueden usar los principios del RCM, como el análisis de los modos y efectos de fallos y el uso de herramientas de control de estado (por ejemplo, el análisis de las vibraciones) para facilitar la identificación de los problemas y establecer prioridades entre ellos hasta llegar a las causas primarias.

c) El TPM requiere el aumento de la eficacia y rendimiento del mantenimiento. Esta es, también, una característica del RCM. Muchas plantas hacen amplio uso del mantenimiento preventivo o del llamado PM. Sin embargo, aunque las inspecciones y pequeños trabajos de PM son apropiados, la aplicación exagerada del PM para la revisión general de equipos puede

no serlo, a menos que esté validada por la revisión del estado del equipo, ya que, según estudios de RCM, pocos equipos están realmente en condiciones adecuadas. El RCM ayuda a determinar qué aspecto del PM es el más eficaz, cuál debe ser atendido por los operadores, cuál por el personal de mantenimiento y cuál merece la atención del personal de diseño y compras. El PM se hace más efectivo porque se basa en un análisis adecuado utilizando los métodos apropiados.

d) El TPM requiere la instrucción del personal para perfeccionar su pericia. El RCM contribuirá a identificar los modos de fallos motivados por personas mal cualificadas y, por tanto, a identificar las áreas que demandan instrucción adicional. En ciertos casos, puede eliminar realmente el modo de fallo por completo, y de esa forma excluir potencialmente la necesidad de instrucción en ese área. El RCM presta un gran apoyo al TPM porque pueden identificarse y llevarse a la práctica las necesidades de instrucción de forma más efectiva y específicamente.

e) El TPM requiere la gestión de los equipos y la prevención del mantenimiento. Esto es inherente a los principios del RCM por la identificación de los modos de fallo y su evitación. De esta forma se gestionan mejor los equipos por medio de normas de fiabilidad al adquirirlos (o al revisarlos), durante el almacenamiento, la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento, y en un ciclo continuo que alimenta el proceso de diseño en beneficio de la mejora de la fiabilidad. El mantenimiento se reduce realizando cosas que aumentan la duración del equipo y maximizan los intervalos de mantenimiento, evitando trabajos de PM innecesarios por ser conocido el estado del mismo y utilizando un personal que se muestre permanentemente activo con el propósito de mejorar la fiabilidad.

f) El TPM requiere el uso efectivo de la tecnología de mantenimiento preventivo y predic-

tivo. Los métodos del RCM contribuirán a identificar cuándo y cómo usar más eficazmente el mantenimiento preventivo y predictivo por el análisis de los modos de fallo a fin de determinar el método más apropiado para detectar el comienzo de la avería valiéndose de los operadores como monitores de estado o de un procedimiento más tradicional por lo que respecta a herramientas predictivas.

3. Principios del mantenimiento centrado en la fiabilidad-RCM

El objetivo primario del RCM es mantener la función del sistema y no la de los equipos. Esto implica que si puede continuar la función del sistema aún después de averiarse un determinado equipo, puede no ser necesaria la conservación de este equipo o ser aceptable que siga funcionando hasta averiarse por completo. La idea metodológica propiamente dicha puede resumirse como sigue:

- Identificar los sistemas, sus límites y sus funciones.
- Identificar los modos de fallo que puedan conducir a cualquier pérdida de función del sistema.
- Dar prioridad a las necesidades funcionales aplicando un análisis de criticidad.
- Seleccionar las tareas de PM aplicables u otras acciones que mantengan la función del sistema.

Al hacer el análisis, se precisa conocer la historia de los equipos y, asimismo, trabajar en equipo para reunir la información apropiada y aplicar las medidas anteriores. Hay que tener presente, sin embargo, que el hecho de no disponer de las historias de los equipos en una base de datos no debe ser razón

para excluir la posibilidad de hacer un análisis de RCM. Como se demuestra seguidamente, las historias de los equipos pueden encontrarse en el pensamiento de los operadores y de los técnicos. Aún más, los operadores pueden ayudar a detectar el comienzo de un fallo y tomar medidas para evitarlo. Al igual que el TPM, el RCM divide el mantenimiento en cuatro clases: preventivo, predictivo, de determinación de fallos y de funcionamiento hasta la avería. A veces, puede ser difícil apreciar las diferencias entre ellas.

El análisis del RCM, como se ha venido practicando tradicionalmente, puede requerir mucho "papeleo" por ser muy sistemático y apoyarse en numerosos documentos. Se ha visto que hay un gran número de industrias en las que se aplica con mucho éxito, en especial en las líneas aéreas y en la industria nuclear, las cuales, por su naturaleza, requieren un elevado nivel de fiabilidad y una tolerancia mínima al riesgo funcional.

Por lo general, el criterio de selección de los sistemas comprende un análisis de Pareto de los que influyen más en la capacidad, en los elevados costes de mantenimiento, en la frecuencia de los fallos y/o en el mantenimiento correctivo, así como en la seguridad o el medio ambiente. Dentro de un sistema se definen sistemáticamente a nivel local, del sistema y de la planta, los componentes, los modos de fallo, las causas de los fallos y los efectos de éstos. Esta información, a su vez, se utiliza para establecer los requisitos del PM. En la descripción de los modos de fallo podrían ser palabras características de ellos las de desgastado, doblado, sucio, agarrado, quemado, cortado, corroído, agrietado, exfoliado, atascado, fundido, picado, perforado, suelto, torsionado, etc.

El RCM es una tecnología buena y disciplinada porque documenta los procesos, enfoca su esfuerzo en la función, facilita la optimi-

zación del PM (no haga lo que no sea necesario, porque puede hacer más daño que el que intenta eliminar), hace más fácil el trabajo en común y la historia de los equipos, así como el uso de un sistema de gestión del mantenimiento informatizado.

Sin embargo, el RCM puede presentar escollos, la mayoría de los cuales los salva la intervención de unos mejores profesionales, a pesar de lo cual vamos a referirnos a ellos para no dejar incompleto el tema. Por ejemplo, su uso implica que si existe un equipo de reserva se puede aceptar el trabajo de otro hasta la avería. Pero esto podría ser peligroso, porque al dejar que el equipo llegue a la avería pueden dañarse otras unidades auxiliares; o puede suceder que si no se cuida el equipo de reserva éste no funcione o lo haga durante demasiado tiempo; o, también, que refuerce un hábito ya adquirido de dejar que las cosas lleguen hasta el fallo y, consecuentemente, obligar a un mantenimiento reactivo que, por lo general, cuesta más.

Aún más, su enfoque tradicional o histórico puede tender a desarrollar fundamentalmente actividades de PM, en lugar de un procedimiento más proactivo e integrado que incluya los efectos de las combinaciones de equipos y prácticas de producción, de compras, de instalación, de puesta en servicio, de almacenamiento, etc. Las aplicaciones más avanzadas que utilizan estos métodos actualmente incluyen, sin duda, estos efectos, de modo que hay que tener cuidado para asegurarse de que no se olvidan estas cuestiones.

El objetivo primario del RCM es preservar la función del sistema. Esto exige un proceso sistemático para definir los límites y funciones del sistema y para analizar modos de fallo que se traducen en pérdida de función, así como aplicar las tareas que preservan la función del sistema. Esto puede ser una parte excelente de la estrategia global de mantenimiento y fabricación.

4. La combinación del TPM y del RCM

En la planta de automóviles, la primera medida fue formar un equipo funcional de personas de diferentes secciones para revisar una cadena crítica de producción con el propósito de identificar los fallos que pudieran ser motivo de pérdida de función, es decir, de capacidad de la cadena de producción. Este equipo estaba formado, generalmente, por inspectores de producción, operadores, supervisores de mantenimiento, ingenieros, mecánicos, técnicos, electricistas, etc., en una palabra, por personas que conocían el proceso de producción y los equipos. Junto a esto, recurrimos también, en la medida necesaria, a personal de apoyo, como empleados de las secciones de compras y almacén, para que contribuyeran a determinar fallos y eliminarlos.

Desde el principio, sin embargo, procedimos a definir un fallo funcional del sistema (de la cadena de producción) como algo que se traducía en la pérdida de rendimiento de producción o que llevaba a incurrir en costes extraordinarios. Esto quiere decir que no limitamos el fallo funcional al equipo, sino que definimos ese fallo, más bien, de un modo muy amplio. Además, también prestamos consideración a la frecuencia de tales fallos y a sus efectos, principalmente a los económicos, medidos en valor de tiempo productivo perdido o de costes adicionales generados.

Inicialmente, enfocamos el primer paso de producción: el paso A. Después de haber identificado la totalidad de los principales fallos funcionales del paso A, empezamos a desplazarnos hacia abajo y a formular preguntas: ¿hay fallos del paso B que motiven fallos en el paso A?, ¿se pueden producir fallos en el paso A cuando tienen lugar fallos en los servicios generales?, ¿hay fallos en las secciones de compras o de personal que originan fallos en el

paso A?, y así sucesivamente. De este modo, fuimos recorriendo cada uno de los pasos de la cadena de producción buscando casos en que por acciones u omisiones hubiera pérdidas de producción o costes importantes (fallos funcionales). También nos aseguramos de estimular todas las funciones de apoyo para comunicar con el equipo de personal sobre la forma en que éste podría ayudar a que las funciones de apoyo se realizasen con mayor eficacia gracias a una mejor comunicación.

Merece la pena señalar que éste puede ser un proceso impreciso al borde del caos controlado y que, dada la imposibilidad de medir las pérdidas con rigurosidad, tenemos que estimar “*a ojo de buen cubero*” el valor de esas pérdidas. Pero esas estimaciones las hacen quienes están en situación de saber más y pueden revalidarse posteriormente. Tal vez lo más importante sea el beneficio adicional que se deriva de que el personal trabaja en equipo, comprendiendo mutuamente las cuestiones de cada uno y valiéndose de esta información para enfocarse en los objetivos comunes, que son: mejorar la fiabilidad de los procesos y de los equipos, reducir costes, aumentar los tiempos productivos y, en última instancia, elevar el rendimiento económico de la compañía.

Por ejemplo, se comprobó que:

a) La calidad de las materias primas contribuía a los fallos funcionales, por ejemplo, a pérdidas de tiempo de producción, pérdidas de calidad, mal rendimiento de los procesos, etc. Operaciones y mantenimiento tienen pocos medios para corregir este problema, pero pueden informar a otros sobre la necesidad de corregirlo.

b) Los fallos de las cajas de cambios eran notables contribuyentes a los fallos funcionales. Poco es, por lo general, lo que puede hacer un operador para detectar el fallo de una caja de cambios

con el PM típico del operador si esa caja de cambios ha sido mal instalada o especificada.

c) Se llegó también a la conclusión de que la inexperiencia y falta de instrucción del operador eran contribuyentes significativos a las pérdidas de producción. El problema resultante de su inexperiencia se registraba a menudo como tiempo muerto de mantenimiento. Por ejemplo, en relación con una máquina se pensó inicialmente que la causa fundamental de los problemas de mantenimiento era la existencia de defectos eléctricos, pero al proceder a una revisión, resultó que los electricistas iban a la máquina (siguiendo órdenes de trabajo) para instruir a operadores inexpertos en las funciones y en el trabajo de esa máquina.

d) La planificación de la producción la llevaba a cabo una fuerza de ventas que carecía del interés adecuado en cuanto a su impacto sobre la producción y a los inherentes fallos funcionales que se producían cuando había que hacer cambios frecuentes de los equipos. Aunque las decisiones de ese personal puedan ser adecuadas estratégicamente, casi siempre hace falta una revisión más amplia y una mejor integración de las estrategias de *marketing* y fabricación.

e) Frecuentemente faltaban repuestos o eran inapropiados o de mala calidad. El departamento de compras estaba obligado a tener unas existencias escasas sin prestar suficiente consideración al impacto de la falta de repuestos sobre la producción. Hacían falta unas mejores especificaciones y una más amplia comprensión de las necesidades de mantenimiento, no debía ser criterio único los bajos precios de las ofertas.

f) Las características inherentes del diseño (o la falta de ellas) hacían del mantenimiento un esfuerzo difícil y que consumía tiempo, por ejemplo, unos espacios insuficientes para traslados y colocación de los equipos, etc. El criterio fundamental para la

realización de proyectos de inversión era el de hacer los costes de instalación más bajos, en lugar de considerar un coste mínimo del ciclo de vida útil más proactivo.

g) La mala calidad de la energía daba por resultado la aparición de problemas electrónicos, se estimó que era causante de una menor duración de los equipos eléctricos. Los ingenieros no habían considerado la calidad de la energía como factor de la fiabilidad de los equipos y de los procesos.

h) Los requisitos de lubricación habían sido delegados en operadores sin adecuada instrucción ni procedimientos.

i) Los mecánicos requerían formación en equipos críticos y/o pericias mecánicas de precisión. Unos cuantos necesitaban cursos de repaso de los propios equipos y de manejo e instalación de cojinetes.

j) Finalmente, y tal vez esto sea lo más importante desde el punto de vista de la fiabilidad de los equipos, se evidenció una falta total de alineación de precisión de las máquinas-herramientas, la cual se pensó que si se realizaba elevaría espectacularmente la fiabilidad y, por ello, reduciría los fallos de los sistemas.

Además de los resultados generales indicados sobre los fallos funcionales del sistema, se vió también que había tres conjuntos de equipos de producción cuya mejora era esencial para elevar la función general del sistema (cadena de producción). Los fallos funcionales de este equipo se debían a *cuellos de botella* en la cadena de producción, y de uno a otro día variaba el equipo causante del embotellamiento dentro del proceso de producción, según la máquina que estuviera parada. Por este motivo, se sometieron a un análisis de RCM los tres pasos y los equipos para determinar el nivel siguiente de detalle.

A este nivel siguiente se estableció un método para evaluar el grado crítico de los equipos cre-

Tabla I. Clasificación de la criticidad M

Gravedad		Estimada		Problema
Clasificación	Quién	Tiempo de reparación	Frecuencia	Detectabilidad
1	Operador	n/a	Trimestral	Operador, se requiere poca inspección
2	Mantenimiento	< 1 turno	Mensual	Operador con considerable inspección
3	Mantenimiento	> 1 turno	Semanal	Operador, normalmente no puede detectar el defecto

ando un sistema de puntuación asociado al problema: 1) gravedad, 2) frecuencia y 3) detectabilidad. Esto se refleja en la Tabla I.

La puntuación para un determinado problema era el producto de los tres factores: gravedad x frecuencia x detectabilidad. Si un determinado problema recibía del grupo una puntuación superior a 4, se le consideraba como necesitado de atención adicional. Las puntuaciones inferiores a 4 se consideraban como las que los operadores podían tratar rutinariamente y/o eran de menores consecuencias. Por ejemplo, supongamos que un fallo funcional fuera detectable por el operador, como una broca partida. Supongamos también que esto se produjera diariamente y pudiera repararse en un turno de trabajo. A esto se daría, por tanto, una puntuación $1 \times 2 \times 3$, es decir, se consideraría como un problema relativamente grave. Eran muy pocos los problemas graves no detectables por el operador que se producían semanalmente y exigían más de un turno para su corrección. Finalmente, este sistema de puntuación podía ser refinado más, evidentemente, para llegar a una mejor definición en un sistema o conjunto de problemas dados. Estimulamos al lector a que desarrolle sus propios modelos para abordar adecuadamente su situación particular o a que utilice modelos ya existentes en su organización para los FMEA de productos o procesos.

Uno de los resultados de este proceso de revisión fue que había una considerable cantidad de equipos que necesitaban realmente una revisión general completa, es decir, que había que llevarlos al estado de *como nuevos* (principio del TPM). Esto se descubrió empleando métodos de RCM al considerar los modos de fallo y los efectos asociados al sistema cuya función era anómala. Así, estos equipos pasaron por una fase de "resurrección" en la que un conjunto de operadores, electricistas y técnicos electrónicos determinaron los requisitos esenciales para una revisión, incluyendo los pasos clave de verificación del éxito de dicha revisión. Menos intensivo, pero igualmente válido, fue el siguiente modelo en cuanto a eficacia.

Este modelo lo utilizamos entonces para analizar los equipos y asignar un índice de grado crítico que, después, dictaba la prioridad de acción requerida para resolver los problemas experimentados.

Las Tablas II y III reflejan los ejemplos específicos de los resultados de estos análisis.

5. Algunas ventajas adicionales

Al realizar este análisis, empezaremos por determinar dónde aplicar mejor ciertas tecnologías. Por ejemplo: la alineación de preci-

sión de las máquinas-herramientas resultó tener importancia crítica en toda la planta porque, en opinión del personal, muchas de las pérdidas de producción se debían a fallos causados por mala alineación. Se determinó, también, que si una alineación inadecuada producía pérdidas extraordinarias de tiempo y dinero, a corto plazo se podrían usar los análisis de vibraciones (lo que se denomina tecnología predictiva) para confirmar la corrección de la alineación y anticipar problemas, así se estaba preparado para responder a ellos de una forma planificada y organizada. A largo plazo, los ingenieros tenían que buscar soluciones más constructivas mejorando el diseño básico (un enfoque más proactivo) e incorporar a las condiciones de compra los requisitos adecuados para unos dispositivos y posibilidades de alineación mejores. Asimismo, consideramos la mejor forma de dar prioridades a nuestros esfuerzos de producción y mantenimiento anticipando dónde se aplicaban mejor los recursos. De este análisis se dedujo también que el mantenimiento preventivo que estábamos haciendo era de poco efecto, porque en algunos casos lo aplicábamos exageradamente en algunos equipos con escasas mejoras de tiempo productivo, y en otros equipos lo hacíamos muy pobremente y se producían tiempos muertos imprevistos. De este modo, empezamos a optimizar nuestras prácticas de PM. Y así podríamos seguir, pero si no se comprende dónde están las principales oportunidades será mucho más difícil aplicar las tecnologías y métodos apropiados para mejorar racionalmente el rendimiento. Usando el procedimiento del TPM/RCM pudimos descubrir más rápidamente esas oportunidades. Finalmente, como consecuencia de ello, el nuevo "modelo" de comportamiento entre el personal está cambiando ahora y se encamina hacia "*arreglado para siempre*" frente a la idea de "*arreglándolo siempre*".

Hemos visto, asimismo, que para nuestro éxito es crítico empe-

Tabla II. Ejemplo de análisis de práctica de tres orificios

Función: Practicar tres orificios en una pieza con un diámetro, profundidad y en un tiempo de ciclo determinados		
Fallos de función:	1) Mal tiempo de ciclo	2) Broca rota
Efecto:	Reducción de los índices de producción	Detección de la producción
Clasificación:	1	3
Frecuencia:	Semanal	Diaria
Causa:	Brocas rotas	Desalineación (después del análisis RCA) Diseño de herramientas y útiles
Clasificación:	3	Más de 3
Detección:	Mayores tiempos de ciclo	Paradas de máquina
Clasificación:	1	1
Prevención:	Mejor material de broca	Alineación de herramientas instalación y funcionamiento mejores
En este ejemplo, el código de seguridad de la broca rota es 9+, que sumado a otros problemas, como la cantidad de tiempo muerto, embotellamientos, etc., se convirtió en un problema crítico en la planta que se evitó lo antes posible usando el análisis de fallos por causas primeras y aplicando otras prácticas para su eliminación.		

fine como algo que causa pérdida de capacidad de producción o que se traduce en costes extraordinarios. Se enfoca en los modelos de fallo, en su frecuencia y en sus efectos y se extiende a la identificación de aquellos modos de fallo que se podrían detectar fácilmente y evitar por la acción adecuada del operador, detallando los modos de fallo que exigen metodología y técnicas más avanzadas, como el mantenimiento predictivo, mejores especificaciones, mejores prácticas de reparación y revisión, mejores procedimientos de instalación, etc., para evitar introducir defectos. El paso siguiente consiste en aplicar los principios del TPM relacionados con el restablecimiento de los equipos a un estado de "como nuevos", haciendo que los operadores pongan un cuidado básico (TLC) en sus operaciones de apriete, lubricación y limpieza, y aplicando técnicas preventivas y predictivas más eficaces. Los operadores representan lo más apropiado en lo que respecta al cuidado básico y al control del estado. Muchas veces necesitan estar apoyados por una técnica más sofisticada de detección y reso-

zar a desarrollar mejores historias de los equipos, planificar y programar el mantenimiento y ser mucho más proactivos en la eliminación de defectos de funcionamiento, tanto si residen en los procesos como en los equipos o en las personas. Todo esto se hizo no tratando de buscar culpables, sino de eliminar defectos. Todos los problemas se consideraron como oportunidades de mejora, no como medios de responsabilizar a nadie. Así, fue mucho más fácil desarrollar un sentido de trabajo en equipo para resolver los problemas.

6. Resumen

El primer paso para combinar el TPM y el RCM es llevar a cabo un análisis bien organizado del RCM en una cadena de producción considerada como sistema. El fallo funcional del sistema se de-

Tabla III. Ejemplo de aplicación específicas del TPM/RCM

	Detección	Prevención	Acción
Fallos de cojinetes	Ruido Análisis de vibraciones	Instalación, especificaciones y funcionamiento mejores	Instrucción en mantenimiento, cuidado, herramientas, puesta en servicio
Inspección visual de eje dañado	Ruido	Limpieza por el operador, lubricación, mejor diseño	Mejor instalación, PM por el operador
Concentricidad de piezas	Control de calidad Visual	Inspección por el operador, mejor diseño	Inspección de rutina, sustitución frecuente
Fugas de sistema hidráulico	Visual Manómetro	Apriete por el operador, mejor diseño	Apriete por el operador, mejor instalación
Hay que tener presente que muchas veces hacía falta una combinación de operación y mantenimiento y de diseño y acciones de compra para enfrentarse realmente con estos problemas. Se hizo uso rutinario de los principios del TPM y RCM, pero en muchos casos se ampliaron para aplicar mejor los métodos existentes, como los análisis de las causas primeras y mejores máquinas-herramientas, tales como los dispositivos y medios de alineación.			

lución de problemas, las cuales se facilitan por la integración de métodos de TPM y RCM.

7. Conclusiones

- **Proceso.** Hasta ahora, los resultados han sido muy estimulantes. Los equipos combinados de personal han identificado aspectos mediante los cuales los operadores, como sus acciones, pueden evitar, minimizar o detectar el desarrollo de fallos desde muy pronto, de tal modo que los requisitos de mantenimiento se reducen y la fiabilidad de los equipos y los procesos mejora. Por otra parte, se están aplicando ya cursos de mantenimiento más eficaces para hacerlos intervenir en aquellos aspectos que requieren verdadera experiencia mecánica, eléctrica o de otro tipo para enfrentarse con las cuestiones y problemas más arduos y difíciles. En realidad, la aplicación de estos principios es muy parecida al modo en que nos comportamos con nuestro automóvil, es decir, nosotros, como operadores de nuestros coches, ejercemos un control rutinario, observando y detectando el desarrollo de posibles problemas mucho antes de que sean serios. Al detectar el desarrollo de problemas, introducimos cambios en la forma de operar y/o los tratamos con un mecánico. Si es necesario, le llevamos al taller nuestro automóvil y le describimos los síntomas para que haga un diagnóstico más profundo y resuelva el problema con su pericia superior. Análogamente, nosotros, como operadores de nuestros coches, podemos excluir fallos y prolongar la duración del equipo aplicando más atenciones básicas, como los cambios rutinarios del filtro y del aceite, que no requieren mucha experiencia mecánica, dejando que el técnico haga tareas más serias y complejas, como sustituir segmentos, cierres, la transmisión, etc.

- **Equipos.** Las máquinas a las que se ha aplicado la metodolo-

gía han dado resultados muy esperanzadores. Por ejemplo, antes de aplicar este método a un aspecto de la producción en que había embotellamientos, era muy frecuente que de 16 máquinas, 6 no pudieran estar disponibles para producción, en tanto que sólo una, por lo general, estaba detenida para realizar con ella un mantenimiento planificado. Después de aplicar el proceso, se dispone ahora rutinariamente de 15 de las 16 máquinas, y se sigue teniendo una, generalmente detenida, para mantenimiento planificado. Esto representa un aumento de disponibilidad de los equipos del 50 por ciento. Había otro caso en que eran frecuentes las paradas para mantenimiento no previsto. Tras la aplicación de este método, se instruyó al personal de producción en prácticas operativas rutinarias con las que se eliminó esencialmente la necesidad de realizar trabajos de reparación y mantenimiento de emergencia para "salvar la situación". Esto se tradujo en la exclusión de muchas órdenes de trabajo innecesarias, hizo que mejorara la disponibilidad de los equipos y redujo los costes. Esta metodología se sigue aplicando en la planta con mejoras constantes.

Para terminar, hay que decir que todas las metodologías (TPM, RCM, TQM, RCFA, etc.) son buenas cuando se aplican sistemáticamente. Pero, desde un punto de vista práctico, cada una de ellas parece tener su objetivo y sus ventajas. Por ejemplo, el TPM tiende a enfocarse en la prevención del mantenimiento y en el cuidado ejercido por el operador. El RCM se enfoca en los modos de fallo y en la consecución de la función del sistema. Son dos buenas metodologías y van bien ambas. Pero en este caso, hemos visto que si se combinan las dos, se perfecciona el proceso y se mejoran el trabajo en equipo y la cooperación a nivel de producción, siendo el resultado un rendimiento y una producción más elevados y costes de explotación más bajos.

8. Bibliografía

- [1] Nakajima, S. "Total productive Maintenance", Productivity Press, Portland OR (1993).
- [2] Reliability Centered Maintenance United Airlines. FS. Noelan, NTIS Document No. AD/A066 579, diciembre (1978).
- [3] Smitch, A.M. "Reliability Centered Maintenance, McGraw Hill, New York, N.Y. (1993).
- [4] Mourbay, J. "Reliability Centered Maintenance", Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, England, (1991).

Ron Rath es director de Mejora Continua en Diesel Technology Company. Grand Rapids, Michigan (EE.UU.).

Ron Moore es director socio de the RM Group, Inc. Knoxville, Tennessee (EE.UU.), Empresa especializada en la fabricación basada en fiabilidad.

¿Qué piensa Vd. sobre este artículo?

A Gestión de Activos Industriales le gustaría conocer su valoración sobre los artículos publicados. Si desea ayudarnos a mejorar la calidad de la temática, marque en nuestra tarjeta-respuesta, al final de la revista, el número correspondiente:

Excelente	Marque 309
Bueno	Marque 310
Aceptable	Marque 311
Malo	Marque 312