

Modelo Avanzado de Gestión de Mantenimiento. Proceso de Gestión y Técnicas de Soporte

Adolfo Crespo Márquez, Carlos Parra Márquez,
Juan F. Gómez Fernández, Mónica López

Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas.
Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla, España
INGECON (Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad), Venezuela
adolfo.crespo@esi.us.es
parrac37@yahoo.com

Resumen

Este artículo presenta un modelo avanzado para la gestión del mantenimiento de sistemas de producción complejos. En primer lugar se discute sobre la importancia que tiene ser eficaz y eficiente en la gestión de mantenimiento. Más tarde se presenta el modelo que describe, en una serie de pasos, como conseguir una organización del mantenimiento eficaz y a la vez eficiente, que mejora de forma continua esta función teniendo siempre en cuenta la situación del activo a lo largo de su ciclo de vida. Un aspecto importante del modelo es que describe además en que momento, en que paso del proceso de gestión, es más conveniente la utilización de las diferentes técnicas y métodos para la gestión de mantenimiento. Este artículo resume una serie de conceptos, metodologías y modelos desarrollados por el autor y publicados recientemente en un libro (2) que aparece en la “Reliability Engineering Series” de la prestigiosa editorial Springer Verlag.

Palabras clave: Gestión de mantenimiento, modelos, eficiencia y eficacia en mantenimiento

1. Introducción

Como es conocido [1], la moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento), las estrategias (definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir esas metas u objetivos), y las responsabilidades en la gestión. Lo anterior permitirá luego, en el día a día, implementar estas estrategias planificando, programando y controlando la ejecución del mantenimiento para su realización y mejora, teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la organización.

Se puede demostrar [2], que para la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento, es posible conseguir los anteriores puntos entendiendo bien los dos siguientes aspectos:

- a) El proceso de gestión de mantenimiento, que tiene un curso de acción, es decir una serie de pasos a seguir y;

- b) El marco general de referencia para la gestión, es decir la estructura básica de soporte constituida por una serie de herramientas que conforman un sistema básico, que es necesario para una gestión avanzada del mantenimiento.

2. El proceso de gestión de mantenimiento

El proceso de gestión de mantenimiento podemos dividirlo en dos partes principales:

- i) La definición de la estrategia de mantenimiento;
- ii) La implementación de la estrategia de mantenimiento.

La primera de estas partes, el proceso de definición de la estrategia de mantenimiento, requiere la definición de los objetivos de mantenimiento como “input” del mismo. Obviamente, los objetivos de mantenimiento dimanar directamente del plan de negocio de la organización en cuestión. Diseñar estrategias de mantenimiento que estén alineadas con los planes de negocio es un aspecto clave y condiciona la consecución de los objetivos del mantenimiento y en última instancia los reseñados en el plan de negocio de la organización.

La segunda parte del proceso, la implementación de la estrategia tiene un distinto nivel de importancia y tienen que ver con nuestra habilidad para asegurar niveles adecuados de formación del personal, de preparación de los trabajos, con la selección de las herramientas adecuadas para realizar las diferentes tareas o, por ejemplo, con el diseño y consecución de la ejecución a tiempo de los diferentes programas de mantenimiento.

2.1. Eficacia y eficiencia de la gestión de mantenimiento. La primera y segunda parte en la que dividimos el proceso de gestión de mantenimiento condicionan la eficacia y eficiencia de la gestión respectivamente. La eficacia muestra la bondad con que un departamento o función consigue los objetivos impuestos en base a las necesidades de la empresa. A menudo la eficacia de las funciones empresariales se mide en términos de calidad del servicio realizado por esa función, siempre desde el punto de vista cliente-proveedor y bajo la perspectiva del cliente. La eficacia de la gestión se concentra entonces en lo correcto de los procesos que se emprenden y en que los procesos produzcan el resultado esperado de los mismos.

La eficacia de la gestión de mantenimiento nos permitirá entonces minimizar los costes indirectos de mantenimiento [3], aquellos asociados con las pérdidas de producción y en última instancia con la insatisfacción del cliente. Por tanto, en el caso de mantenimiento, la eficacia de la gestión de esta función podemos entenderla como la satisfacción que la empresa tiene con la capacidad y condición de sus activos [4], o con la mejora general de los costes que experimenta cuando la capacidad de producción está disponible cuando se necesita [5].

La segunda parte en que hemos dividido el proceso de mantenimiento tiene que ver con la eficiencia de nuestra gestión, que debería ser menos importante que la primera

(garantizar la eficacia de la misma) para la organización. Eficiencia es actuar o producir con el mínimo esfuerzo, minimizando derroche o desperdicio de recursos, y los gastos asociados a los mismos. Si logramos mejoras en esta segunda parte del proceso de gestión, nos permitirán minimizar los costes directos de mantenimiento, es decir realizar un servicio de mantenimiento de igual o mejor calidad a costes más competitivos.

2.2. Principios básicos para la definición de estrategias de mantenimiento. El proceso de definición de una estrategia para mantenimiento puede describirse utilizando métodos estándar bien conocidos de planificación estratégica, que normalmente incluyen lo siguiente (Figura 1):

- Obtención, partiendo de los objetivos corporativos del negocio, los objetivos y políticas de mantenimiento al más alto nivel. Estos objetivos pueden incluir, por ejemplo valores estimados y realistas para las siguientes variables: Disponibilidad de equipos, fiabilidad, seguridad, riesgo, presupuesto e mantenimiento, etc; a su vez, estos objetivos deben de ser comunicados a todo el personal que está involucrado en mantenimiento, incluyendo terceras partes.
- Determinación del desempeño o rendimiento actual de la instalaciones productivas;
- Determinación de los medidores claves a consierar para la evaluación del rendimiento de las instalaciones (Key Performance Indicators —KPIs). Las mejoras a perseguir se basaran en esta serie de medidores aceptados por la dirección de operaciones y de mantenimiento;
- Establecimiento de una serie de principios que conducirán la implementación de la estrategia, y que condicionarán la posterior planificación, ejecución, evaluación, control y análisis para la mejora continua de las actividades de mantenimiento.

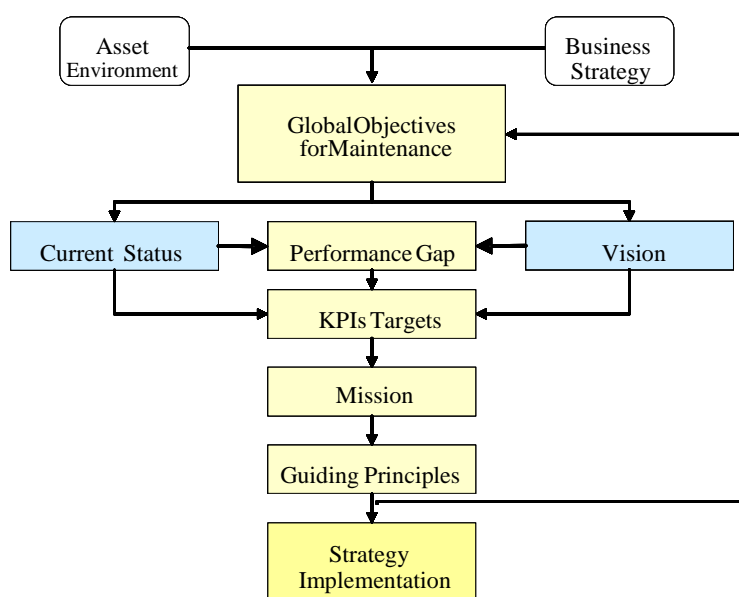


Figura 1. Modelo para la definición de la estrategia de mantenimiento.
Figura tomada de [2].

2.3. Aspectos a considerar a la hora de implementar estrategias de mantenimiento.

La gestión de mantenimiento debe conseguir alinear las actividades de mantenimiento de acuerdo con la estrategia definida y esto debe de hacerlo en los tres niveles de actividad en la empresa: estratégico o de dirección, táctico o de procesos y operativo.

Después de haber transformados prioridades del negocio en prioridades de mantenimiento, los gerentes de mantenimiento construirán sus estrategias a corto-medio plazo para atacar potenciales puntos débiles en el mantenimiento de los equipos, de acuerdo con estos objetivos. De esta forma se obtiene un plan de mantenimiento genérico en la empresa que luego hay que desarrollar. El desarrollo de este plan supondrá, como punto fundamental, concretar una serie de políticas a llevar a cabo para los activos considerados críticos. A este mismo nivel, otra serie de acciones pueden concretarse sobre aspectos que tengan que ver, por ejemplo, con los requisitos sobre habilidades y tecnologías a utilizar para la mejora de la eficacia y eficiencia de mantenimiento a un nivel micro, pero que requieren de inversiones de consideración.

En un segundo lugar, las acciones a nivel táctico deben determinar la correcta asignación de los recursos de mantenimiento (habilidades, materiales, equipos de pruebas y medida, etc.) para la concesión del plan de mantenimiento. Como resultado, un programa detallado será materializado con todas las tareas a desarrollar, con los correspondientes recursos asignados para la realización de las mismas. Además, durante el proceso detallado de planificación y programación de las necesidades de mantenimiento, este nivel de actividad en la empresa debe desarrollar competencias que le permitan discriminar entre diferentes opciones de recursos a su disposición (de diferente coste), que pueden ser asignados para realizar una determinada tarea en un activo específico (por ejemplo, una máquina particular), el lugar idóneo de realización de la tarea y el tiempo de comienzo y ejecución. Lo anterior detallará de forma explícita las políticas de mantenimiento a nivel táctico.

Las acciones a nivel operativo deben asegurar que las tareas de mantenimiento se completan de forma adecuada por los técnicos seleccionados, en el tiempo acordado, siguiendo los procedimientos reseñados y utilizando las herramientas adecuadas. Como resultado de lo anterior, el trabajo se realizará y se recogerán los datos correspondientes para ser introducidos en el sistema de información para la gestión. Los procedimientos a nivel operativo serán necesarios para las actividades preventivas, reparaciones y diagnóstico complicado de fallos.

3. Un modelo práctico y avanzado del proceso de gestión de mantenimiento.

A continuación se concreta lo anteriormente comentado de forma sencilla y práctica, pensando siempre en facilitar a los gestores de mantenimiento la aplicación de los conceptos anteriores. Se presenta entonces un modelo genérico [2] propuesto para la gestión de mantenimiento, que tiene en cuenta e integra muchos de los modelos

encontrados en la literatura hasta la fecha, o de los empleados en la práctica en empresas de amplia tradición y excelencia en este campo [6,7].

El modelo está compuesto por ocho bloques (Figura 2), que distinguen y caracterizan acciones concretas a seguir en los diferentes pasos del proceso de gestión de mantenimiento. Es un modelo dinámico, secuencial y en bucle cerrado que intenta caracterizar de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo en este proceso de gestión para asegurar la eficiencia, eficacia y mejora continua del mismo.

Tal y como se indica en la figura de referencia, los primeros tres bloques condicionan la eficacia de la gestión, los siguientes bloques aseguran la eficiencia de las misma y su mejora continua de la siguiente forma: Los bloques 4 y 5 incluyen acciones para la planificación y programación del mantenimiento, incluyendo por supuesto la planificación de la capacidad del departamento de mantenimiento. Los bloques 6 y 7 están dedicados a la evaluación y control del mantenimiento y del coste de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Finalmente el bloque 8 se centra en acciones para asegurar la mejora continua de la gestión.

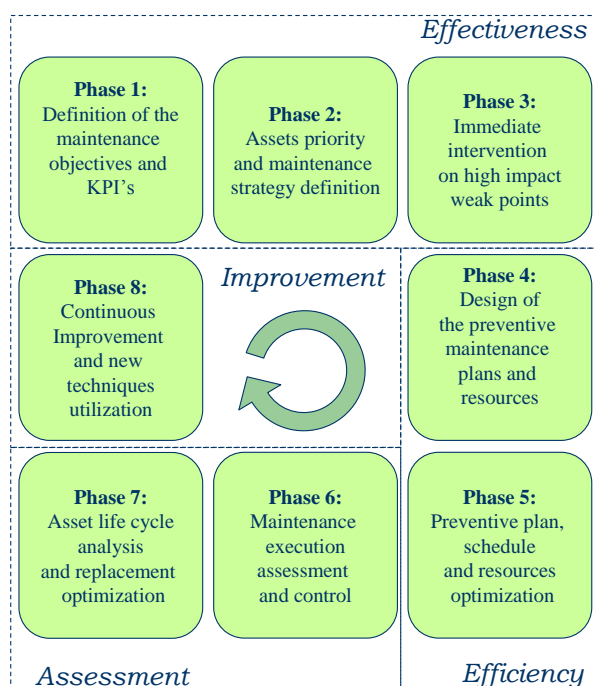


Figura 2. Modelo del proceso de gestión del mantenimiento. Tomada de [2]

4. Caracterización de la estructura de soporte a la gestión.

Como fue anteriormente mencionado, la estructura de soporte comprende un conjunto de técnicas que son necesarias para. Esta estructura contiene una serie de pilares que pueden clasificarse como sigue [15]:

- El pilar de tecnologías de la información (IT Pillar). Aquí incluimos el GMAO y las tecnologías de conocimiento de la condición, que serán fundamentales para la

mejora de la eficacia y eficiencia en la gestión de mantenimiento, alineando de manera continua las decisiones tácticas y operacionales con los objetivos del negocio.

- El pilar de técnicas de ingeniería de mantenimiento. Aquí incluimos técnicas como el RCM, TPM, modelos estocásticos para modelar el proceso de fallos, técnicas cuantitativas de optimización, y otras técnicas de investigación de operaciones orientadas a la optimización de los recursos que utilizamos en mantenimiento.
- El pilar de técnicas para la mejora organizacional. Es un pilar tan importante como los pilares anteriores y tiene que ver con técnicas, a los tres niveles de actividad, para promover una mejor competencia en la gestión de las relaciones inter-extra organizacionales.

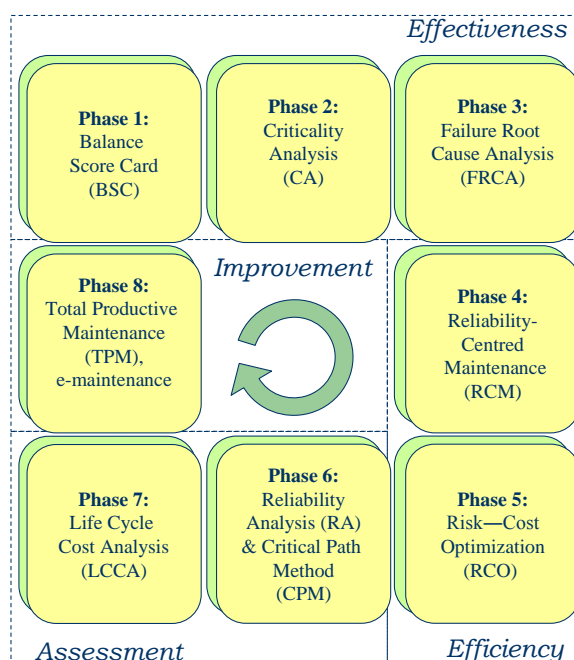


Figura 3. Ejemplo de técnicas dentro de la estructura de soporte para la gestión de mantenimiento. Tomada de [2].

Pero veamos ahora como cada una de estas técnicas encaja dentro de cada uno de estos bloques de nuestro modelo de proceso de mantenimiento (Figura 2). Para hacer esto, en esta sección introduciremos brevemente cada técnica y discutiremos como puede ser de mayor ayuda a los procesos de tomas de decisiones que tienen lugar en cada etapa del proceso. De esta forma caracterizamos además la estructura de soporte de mantenimiento

4.1. Técnicas para definir la estrategia de gestión de mantenimiento. Para poder asegurar que los objetivos operacionales de mantenimiento y la estrategia no son inconsistentes con los objetivos generales del negocio [8], podemos introducir e implementar en el área de mantenimiento técnicas como el Cuadro de Mandos Integral (The Balanced Scorecard –BSC- [9]). El BSC es específico para la

organización para la cual es desarrollado y permite la creación de una serie de indicadores claves de rendimiento (KPIs) para medir el desempeño de la gestión de mantenimiento, que están alineados con los objetivos estratégicos de la organización. Al contrario que otras medidas convencionales que están orientadas al control, BSC coloca en el centro de su análisis la estrategia global y la visión del negocio para de esta forma enfatizar en la consecución de una serie de metas en el rendimiento de la organización. Estas metas se diseñan para alinear a la gente con una visión general para la organización. Las metas para los indicadores seleccionados se establecen siguiendo un proceso participativo que requiere de la involucración de agentes interiores y exteriores a la organización de mantenimiento, la participación de la dirección de la empresa, y de personal considerado clave en las unidades operativas de la función mantenimiento, junto con usuarios claves del servicio (**Fase 1**). De esta forma, las medidas de rendimiento de la función mantenimiento se ligan con el éxito de la organización al completo. [10].

4.2. Técnicas para jerarquizar los activos de producción. Cuando los objetivos y estrategias de mantenimiento están definidos, existen un número importante de técnicas cualitativas y cuantitativas que nos ofrecen una base sistemática sobre la cual basar nuestras decisiones a la hora de clasificar los activos productivos en base a la importancia de su función para la consecución de los objetivos del negocio (**Fase 2**). Muchas de las técnicas cuantitativas utilizan algún tipo de variación de un concepto clave en esta fase que es la evaluación probabilística del riesgo y la obtención del número/índice probabilístico de riesgo del activo (PRA/PRN). [11]. Los activos con índice mayor serán los primeros en ser analizados.

En muchas ocasiones no existen datos históricos en base a los cuales obtener estos índices, pero la organización de mantenimiento puede necesitar algún tipo de evaluación sobre la cual basar la toma inicial de decisiones. En estos casos es posible utilizar técnicas de naturaleza más cualitativa para ir así garantizando niveles adecuados iniciales de efectividad en las operaciones de mantenimiento. Una vez que las prioridades de activos están establecidas, es necesario definir una estrategia clara de mantenimiento a aplicar a cada categoría de activo. Por supuesto, esta estrategia será ajustada con el paso del tiempo a partir de ese momento.

4.3. Herramientas para eliminar los puntos débiles en equipos/sistemas de alto impacto. En activos críticos, antes de pasar a desarrollar las acciones a incluir en nuestro planes de mantenimiento, es muy conveniente analizar posibles fallos repetitivos, crónicos, cuya frecuencia de aparición pueda incluso ser excesiva (**Fase 3**). Si somos capaces de encontrar, y eliminar si es posible, las causas de estos fallos podremos ofrecer un alto retorno inicial a la inversión en nuestro programa de gestión de mantenimiento. Entonces, nos será mucho más fácil acometer las fases sucesivas de análisis y diseño de planes de mantenimiento, que requieren de una importante inversión de tiempo y recursos. Existen diferentes métodos para realizar este análisis de puntos débiles en activos críticos, una de los más conocidos es el del análisis de causa raíz de fallos (Root Cause Failure Análisis – RCFA). Este método consiste en una serie de acciones que son tomadas para encontrar la razón por la cual existe un determinado modo de fallo y la forma de corregirla. Las causas por las cuales los

fallos aparecen pueden clasificarse en físicas, humanas o latentes. La causa física es la razón por la que el activo falla, la explicación técnica del motivo por el cual el activo tuvo el problema o falló. La causa humana incluye los errores humanos (acción u omisión) que acaban dando lugar a causas físicas de fallo. Finalmente, las causas latentes incluyen a todas aquellas deficiencias organizacionales y de gestión que hacen posible que aparezcan errores humanos y que no se corrijan con el paso del tiempo (fallos en sistemas y procedimientos). Las causas latentes de fallo serán por lo general, nuestra mayor preocupación en esta etapa del proceso de gestión del mantenimiento.

4.4. Soporte para la correcta definición de un plan adecuado de mantenimiento preventivo. El diseño del plan de mantenimiento preventivo para un determinado sistema (**Fase 4**) requiere la identificación de sus funciones y de la forma en que estas funciones dejan de cumplirse, además del establecimiento de una serie de tareas efectivas y eficientes de mantenimiento, basadas en consideraciones que tienen que ver con la seguridad y economía de nuestro sistema. Un método formal para la consecución de este objetivo es el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (Reliability Centred Maintenance - RCM).

4.5. Técnicas de optimización para la mejora de los programas de mantenimiento. La optimización de los planes y programas de mantenimiento (**Fase 5**) puede ser realizada para mejorar la eficacia y eficiencia de las políticas de mantenimiento que resultan de un diseño inicial del plan y del programa de tareas. Los modelos a aplicar dependen, por lo general, del horizonte de tiempo elegido para el análisis. De esta forma, los modelos con largo horizonte temporal se preocupan de aspectos relacionados con la capacidad de mantenimiento, el diseño del almacén de repuestos, o por ejemplo, los tiempos o intervalos más idóneos para realizar las tareas de mantenimiento. Los modelos de optimización a medio plazo pueden ocuparse, por ejemplo, de optimizar la secuencia de actividades a realizar en una parada importante de una planta, mientras que los modelos de mantenimiento cuyo horizonte temporal es de un más corto plazo se centran en la mejora de la asignación de recursos y en su control [13]. Los enfoques de modelado, analíticos y empíricos, son muy diversos. La complejidad del problema es a menudo muy alta y fuerza a la consideración de ciertas suposiciones para simplificar la resolución analítica de los modelos, o a veces reducir las necesidades computacionales.

4.6. Control y supervisión de las operaciones de mantenimiento. La ejecución de las actividades de mantenimiento — una vez diseñadas, planificadas y programadas tal y como se ha descrito en apartados anteriores — tiene que ser evaluada y las desviaciones controladas para perseguir continuamente los objetivos de negocio y los valores estipulados para KPIs de mantenimiento seleccionados por la organización (**Fase 6**). Muchos KPIs, son construidos o se componen a partir de otra serie de indicadores técnicos y económicos de nivel más bajo. Por lo tanto, es muy importante asegurarse que la organización captura datos convenientes y que esto los datos son correctamente agregado/desagregados según el nivel requerido de análisis de operaciones de mantenimiento.

4.7. Instrumentos para análisis de costes de ciclo de vida del activo y para su control. Un análisis de costes de ciclo de vida (**Fase 7**) calcula el coste de un activo durante su vida útil. El análisis de un activo típico podría incluir costes de planificación, investigación y desarrollo, producción, operación, mantenimiento y retirada del equipo. Los costes de adquisición del equipo (que incluyen investigación, diseño, prueba, producción y construcción) son por lo general obvios, pero el análisis de costes de ciclo de vida depende crucialmente de valores derivados de la fiabilidad. Por ejemplo del análisis de la tasa de fallos, del coste de las piezas de recambio, de los tiempos de reparación, de los costes de los componentes, etc. Un análisis de costes de ciclo de vida es importante para tomar decisiones sobre la adquisición de nuevos equipos (reemplazo o la nueva adquisición) [12], donde proporciona tres ventajas importantes:

- Todos los costes asociados con un activo se hacen visibles.
- Permite a un análisis entre funciones del negocio. Por ejemplo, comprobar cómo bajos costes de R&D puede conducir a altos costes de mantenimiento en el futuro;
- Permiten a la gerencia desarrollar predicciones exactas.

4.8. Técnicas para la mejora continua del mantenimiento. La mejora continua de la gestión de mantenimiento (**Fase 8**) será posible utilizando técnicas y tecnologías emergentes en áreas que se consideren de alto impacto como resultados de los estudios realizados en fases anteriores de nuestro proceso de gestión. Por lo que respecta a la aplicación de nuevas tecnologías de mantenimiento, el concepto “e-maintenance” emerge como componente del concepto “e-manufacturing” [14], el cual promueve el beneficio de las nuevas tecnologías de la información y comunicación para crear entornos corporativos y distribuidos multi-usuario.

“E-Maintenance” puede ser definido [10] como un soporte de mantenimiento que incluye recursos, servicios y gestión necesarios para permitir la ejecución de un proceso proactivo de toma de decisiones en mantenimiento. Este soporte no sólo incluye tecnologías de Internet (i.e. ICT, Web-based, tether-free, wireless, infotronic technologies) sino también, actividades “e-maintenance” (operaciones y procesos) como los de “e-monitoring”, “e-diagnosis”, “e-prognosis”...etc. Además de nuevas tecnologías para el mantenimiento, la participación de la gente de mantenimiento dentro del proceso de mejora será un factor crítico para el éxito. Desde luego, requerirán los niveles más altos de conocimiento, experiencia y educación (entrenamiento), pero al mismo tiempo, las técnicas simples que permitan la involucración de operadores en la realización de tareas de mantenimiento serán sumamente importantes para alcanzar los niveles más altos de calidad de mantenimiento y la eficacia total del equipo.

5. Conclusiones

Este artículo resume brevemente, el proceso (curso de acciones y la serie de etapas o pasos para seguir) y el marco de referencia (la estructura de soporte esencial y el sistema básico) necesario para la gestión del mantenimiento. Se presentan un conjunto

de modelos y métodos para mejorar la toma de decisiones en tareas de gestión de mantenimiento. Estos modelos y métodos son también clasificados según su utilización más conveniente dentro del proceso de gestión de mantenimiento. Como consecuencia de esto, se obtiene un marco práctico para la mejor toma de decisiones de mantenimiento es presentado. Para ulteriores detalles y discusión de estos asuntos el lector puede consultar un trabajo reciente más ampliado del autor [2].

6. Referencias

1. EN 13306:2001, 2001. Maintenance Terminology. European Standard. CEN (European Committee for Standardization), Brussels.
2. Crespo Márquez A, 2007. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. London: Springer Verlag.
3. Vagliasindi F, 1989. Gestire la manutenzione. Perche e come. Milano: Franco Angeli.
4. Wireman T, 1998. Developing performance indicators for managing maintenance. New York: Industrial Press.
5. Palmer RD, 1999. Maintenance Planning and Scheduling. New York: McGraw-Hill.
6. Pintelon, LM, Gelders LF, 1992. Maintenance management decision making. *European Journal of Operational Research*, 58: 301-317.
7. Vanneste SG, Van Wassenhove LN, 1995. An integrated and structured approach to improve maintenance. *European Journal of Operational Research*, 82: 241-257.
8. Gelders L, Mannaerts P, Maes J, 1994. Manufacturing strategy, performance indicators and improvement programmes. *International Journal of production Research*, 32(4):797-805.
9. Kaplan RS, Norton DP, 1992. The Balanced Scorecard - measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70(1): 71-9.
10. Tsang A, Jardine A, Kolodny H, 1999. Measuring maintenance performance: a holistic approach. *International Journal of Operations and Production Management*, 19(7):691-715.
11. Moubray J, 1997. Reliability-Centred Maintenance (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
12. Campbell JD, Jardine AKS, 2001. Maintenance excellence. New York: Marcel Dekker.
13. Duffuaa SO, 2000. Mathematical models in maintenance planning and scheduling. In Maintenance, Modelling and Optimization. Ben-Daya M, Duffuaa SO, Raouf A, Editors. Boston: Kluwer Academic Publishers.
14. Lee J, 2003. E-manufacturing: fundamental, tools, and transformation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19(6): 501-507.
15. Crespo Marquez A, Gupta JND, 2006. Contemporary maintenance management: Process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(3): 313-326.

Autor e-mail: Carlos Parra, parrac37@yahoo.com