

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/102626>

This paper must be cited as:

Cárcel Carrasco, FJ.; Grau Carrión, J.; Pascual Guillamón, M. (2016). Elementos del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial. Final. Mantenimiento en Latinoamérica. 8(1):9-14. <http://hdl.handle.net/10251/102626>



The final publication is available at

<http://mantenimientoenlatinoamerica.com/index.php>

Copyright Mantenimiento en latinoamérica

Additional Information

Elementos del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial. (Final)

F. Javier Cárcel Carrasco*, José Grau Carrión**, Manuel Pascual Guillamón*

* *Universitat Politècnica de València, Camino de Vera S/N, 46022, Valencia, España (e-mail: fracarcl@csa.upv.es)*

** *Director de Ingeniería y Mantenimiento Grupo Martínez Loriente S.A. Pol. Ind. Castilla, Vial 2, Cheste (Valencia) (e-mail: jgrau@martinezlorient.com)*

Resumen: Todas las opciones tácticas en la ingeniería del mantenimiento industrial requieren una gran especialización, una adecuada gestión de la información, experiencia y del conocimiento generado, que implica el grado de eficiencia del propio departamento de mantenimiento, y con ello, la funcionalidad de los equipos e instalaciones, que hacen aumentar la productividad o el servicio a prestar por la propia empresa. En este artículo se analizan los elementos de la gestión y transferencia del conocimiento que están implícitos en las opciones tácticas básicas en la ingeniería del mantenimiento industrial.

Palabras Clave: RCM, TPM, Mantenimiento industrial, Producción industrial.

4. OPCIONES TÁCTICAS DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Se centra el análisis en los criterios de selección de las opciones tácticas de mantenimiento disponibles para la planta, en base de nuevo a los conocimientos que sobre esas opciones se posee.

Existen distintas posibilidades de organizar la actividad de mantenimiento de la planta, que se han ido acuñando con la experiencia industrial y el intento de optimizar el funcionamiento de esa planta. Existen ocasiones o situaciones en que es obligada la aplicación de una opción concreta; en general, pueden ser varias las opciones y es preciso seleccionar la mejor opción, de forma aislada o combinada con otras.

Lo que no parece ir en la línea de la optimización de la función del mantenimiento, es pretender buscar generalizaciones absolutas en la adecuación de un tipo de opción táctica. Por el contrario, se concede que las soluciones deben buscarse respetando las condiciones locales del ámbito donde esas opciones han de aplicarse.

A continuación, se analizan de forma esquemática las opciones tácticas más extendidas y formalizadas, exponiendo sus ventajas, inconvenientes y exigencias de conocimientos.

4.1 Mantenimiento Correctivo.

Este tipo de mantenimiento u opción táctica consiste en la restitución, mediante reparación, de los equipos a la condición requerida de utilización, cuando la avería ya se ha producido. Se le conoce también, en el ambiente de la planta, como mantenimiento "por avería", "histórico", "de rotura" o "a fallo".

Obviamente, para la realización con éxito de este tipo de mantenimiento, se hace necesario conocer:

- ◆ La posible existencia de fallo mediante alerta, alarma, llamada o requisitoria, etc.
- ◆ Las circunstancias: situación, ámbito, momento, etc. del fallo.
- ◆ El modo, mecanismo y proceso de fallo.
- ◆ Las causas probables.
- ◆ Los efectos y su severidad.
- ◆ El estado inicial y requerido del equipo o sus componentes.
- ◆ Los medios disponibles, recursos materiales, humanos y de tiempo con los que se cuenta, etc.

Deben realizarse tres observaciones:

- El mantenimiento correctivo no se realiza exclusivamente cuando el equipo falla, se avería o deja de funcionar, sino también cuando su funcionamiento se aleja del nivel aceptable o requerido (Delgado, 1992).
- Aunque es posible realizarlo, a veces, con el equipo en funcionamiento, lo habitual es que deba realizarse a "máquina parada". En ese caso el tiempo de parada es la suma del tiempo de intervención y los tiempos muertos. Éstos incluyen el tiempo de pre-intervención (debido a una falta de recursos o de información, etc.) y el de post-intervención (por los posibles retrasos en la

retirada de materiales, esperas en la alimentación de la máquina, puesta en marcha, dilación en alcanzar la velocidad de régimen, etc.).

- El tiempo de intervención es una función de la mantenibilidad de los equipos, de la productividad de los operarios y de los métodos de trabajo y técnicas de ingeniería, de los tiempos muertos, de la organización de la actividad de mantenimiento, de los recursos físicos a utilizar, del proceso de producción, y de la fluidez de la información y las comunicaciones.

En la figura 3 se representan de forma esquemática las ventajas, inconvenientes y exigencias de este tipo de mantenimiento. Ahí puede comprobarse cómo en este tipo de mantenimiento los inconvenientes superan holgadamente a las ventajas. Los requerimientos de conocimientos son amplios, sin embargo, lo habitual, dada la urgencia, ausencia de método y tecnologías aplicadas, es que se disponga de una reducida parte.

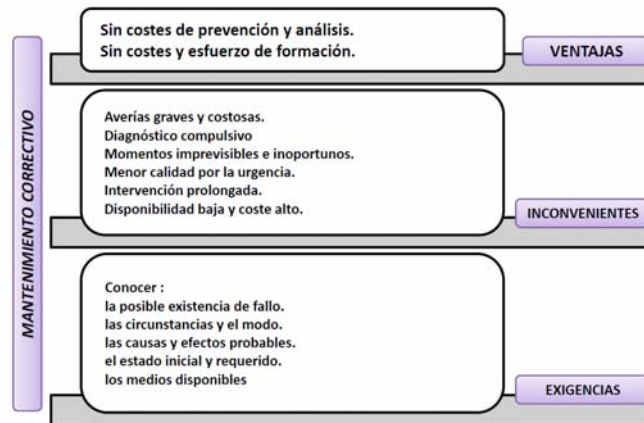


Fig. 3. Ventajas, inconvenientes y exigencias del mantenimiento correctivo.

4.2 Mantenimiento Preventivo.

A finales de los años 40, y como solución a algunos problemas planteados por la aplicación del método correctivo, surge el mantenimiento preventivo. Se basa en la prevención del fallo mediante la programación de visitas periódicas (según períodos fijos de tiempo ó número de operaciones) en las que se realizan verificaciones y comprobaciones del estado de los componentes del equipo. En función de esas comprobaciones y de los criterios establecidos se realizan ciertas reparaciones o cambios de componentes o piezas (British Standards, 1964).

Este tipo de mantenimiento se conoce también como mantenimiento “histórico”. La programación en esta opción táctica se realiza a partir de los datos históricos de fallos del sistema, es decir, utiliza técnicas de fiabilidad a posteriori.

Como en cualquier otro tipo de mantenimiento se debe buscar un compromiso entre el coste de mantenimiento y su efectividad en la disminución del coste de indisponibilidad. La periodicidad se convierte en variable clave que afecta a ambos costes; el tipo, relevancia y antecedentes del equipo influyen en ella.

Este tipo de mantenimiento suele producir buenos resultados con vistas a la eficacia ante el fallo y conduce a altos niveles de disponibilidad. Su gran inconveniente es el alto coste. Aún así, existen determinados casos en que se convierte en la última alternativa de elección.

El mantenimiento preventivo viene desde su aplicación demostrando su eficacia. Basta con observar la figura 4, donde se representa un esquema conteniendo algunos inconvenientes, ventajas y exigencias, para justificar la anterior aseveración. Las ventajas sobrepasan en mucho a los inconvenientes, siendo efectivamente el coste el gran problema a solventar.

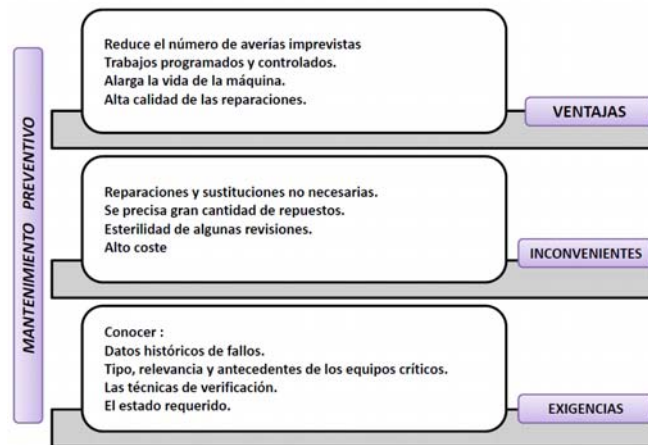


Fig. 4. Ventajas, inconvenientes y exigencias del mantenimiento preventivo.

Efectivamente, estos tipos de revisiones conllevan un coste elevado en base al tiempo empleado en comprobaciones muchas veces estériles. Sin embargo, su utilización es alternativa de elección cuando se dan imprevistos; no se permite el fallo porque la indisposición del equipo conduce a costes insoportables, o cuando es difícil y costosa la predicción por ser complejo y difícil de adquirir el conocimiento del proceso y la cadena de fallo.

4.3 Mantenimiento Predictivo.

El elevado coste del mantenimiento preventivo origina la búsqueda de un nuevo tipo de mantenimiento. A finales de los años 50, surge una nueva técnica: el mantenimiento predictivo, conocido también como “según estado” o “según condición” (Garg, 1985). Basado en el conocimiento del estado del componente por medición periódica o continua de algún parámetro significativo de la condición, pretende la detección precoz de los síntomas de avería y la estimación de la vida residual del componente (García, 1980).

Este tipo de mantenimiento (Figura 5), que necesita un conocimiento del estado y evolución del componente, certero, completo y profundo, exige la monitorización de aquellos parámetros de la máquina, cuya alteración sea sintomática de la existencia y propagación de fallos en el equipo.

De estos conceptos se deriva el que el mantenimiento basado en la condición constituye la mejor aproximación a un mantenimiento científico, orientado a conocer y modelar el comportamiento de los equipos.

No obstante, el mantenimiento predictivo no rechaza el retorno de la experiencia respecto a los fallos de un equipo, ya que facilita el chequeo de su condición, y la previsión de su vida residual. Incluso proporciona caminos de mejora cuando, por ejemplo, permite estimar variaciones en la carga y velocidad de algunas máquinas para obtener, en periodos sucesivos, una mejor relación entre beneficio actual y vida operativa.

De forma similar a como es posible definir dos modos básicos de técnicas de control, el análisis predictivo posee dos orientaciones:

- *Análisis por excepción:* Se fijan los valores de alarma en un valor umbral de los parámetros monitorizados. Aunque no se pretende una predicción de la vida residual del equipo, está muy extendido en máquinas rotativas, utilizando como parámetros a monitorizar las vibraciones en los cojinetes. Los valores umbrales pueden tomarse de normas y recomendaciones de la literatura industrial.
- *Análisis de tendencias.* Se realiza una estimación del tiempo hasta el fallo, a partir de un modelo matemático explicativo o evolutivo. Estos modelos teóricos realizan propuestas de fiabilidad estimada. A pesar de la dificultad del análisis y el modelado en un campo tan borroso, son ya abundantes las aportaciones, muchas de ellas todavía a nivel de investigación básica.

Los parámetros a monitorizar deben reflejar correctamente el estado del equipo ó de sus componentes en relación a los requerimientos que de ella se solicitan; se suelen tomar directamente del propio equipo o indirectamente del proceso productivo.

En este último caso, se suelen tomar resultados (productividad, calidad, etc.) obtenidos por el equipo a monitorizar u otros que dependan de él. También se consideran otros parámetros de proceso como presiones y temperaturas, consumos, etc.

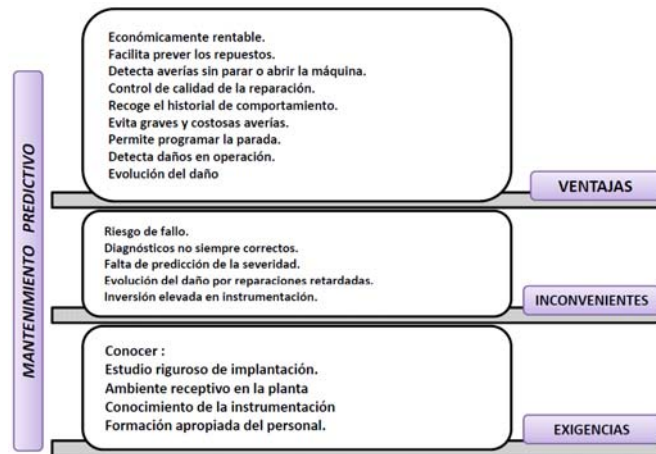


Figura 5. Ventajas, inconvenientes y exigencias del mantenimiento predictivo

Si se comparan las figuras 3, 4 y 5, que reflejan las ventajas, inconvenientes de los tres tipos de mantenimiento u opciones tácticas, se derivan las siguientes consideraciones:

- Según se evoluciona hacia un mantenimiento más formalizado y técnico las ventajas son más numerosas e importantes.
- Los inconvenientes con vistas a la disponibilidad de la planta y al conocimiento de los activos decrecen.
- Las exigencias son más fuertes según evoluciona el mantenimiento, y nacen de las necesidades tecnológicas, del esfuerzo a aplicar de mantenimiento para lograr resultados excelentes (profundos y fiables), y de las implicaciones de ambos (mayor esfuerzo en formación, mayores conocimientos y experiencia, selección de tecnologías, técnicas, frecuencias, rutas, programas, variables críticas y parámetros a conocer, etc.).

4.4 Mantenimiento Planificado.

Hasta ahora se han expuesto las opciones tácticas aisladas. Como se ha señalado el ámbito de aplicación de estos tipos de mantenimiento con sus tecnologías asociadas es en algunos casos propio y la decisión es forzada ya que sólo es posible aplicar una tecnología determinada. Pero en la mayor parte de las ocasiones debe decidirse entre varias de ellas considerando factores relacionados con la disponibilidad o los costes implicados.

Sin embargo, en muchos otros casos la alternativa de elección es una combinación de dos o tres tecnologías. En concreto, se denomina mantenimiento planificado (Eade, 1979) al uso combinado del mantenimiento preventivo y predictivo, técnicas ambas que utilizan la planificación como método.

Aunque las características del mantenimiento predictivo son en algunos casos alternativas del preventivo no le sustituye con ventaja, por el contrario, sí puede cooperar a la excelencia de éste.

Ambos tipos pueden así complementarse; por ejemplo, determinados daños no se pueden detectar con los equipos en operación, en otros casos, con los equipos en paro. El mantenimiento predictivo exige que:

- ♦ los equipos estén en marcha,
- ♦ que sean accesibles a la monitorización,
- ♦ que tengan una relativa importancia operativa,
- ♦ que se tomen sistemáticamente medidas de parámetros,
- ♦ que se lleve a cabo un proceso de inducción y modelado teórico,
- ♦ que se elija bien el periodo de inspección ajustándose al ciclo de vida del equipo o componente,
- ♦ una eficiente selección de parámetros a controlar,
- ♦ una formación tecnológica adecuada del personal de mantenimiento,
- ♦ instrumentos de alto nivel tecnológico como colectores y analizadores de datos, etc.

El mantenimiento preventivo puede sustituir al predictivo cuando éste se demuestra ineficiente o difícil de aplicar, y puede complementarse aportando posibilidad de adquirir experiencia, con vistas al conocimiento del comportamiento del equipo en relación al fallo.

El mantenimiento preventivo se puede programar para realizar una serie de tareas complementarias de escaso interés para el

predictivo, como es el caso de comprobaciones (sistemas de protección y seguridad), verificaciones (estado de cojinetes, engranajes, etc.), inspecciones, ajustes, aprietes (elementos de unión), engrases y lubricación, cambios de aceite, limpieza de circuitos de refrigeración o alimentación, y sustituciones periódicas de componentes y elementos de equipos.

Algunas de estas tareas no son abordables con técnicas predictivas, tales como la comprobación de sistemas de protección, que no actúan habitualmente; otras, simplemente, no constituyen una tarea hacia la que estén orientadas eficientemente.

También demuestra su complementariedad el mantenimiento preventivo en el caso del “Preventivo en parada”, como cuando se requiere una inspección en detalle, ajustada a las paradas de la planta, por haberse detectado un deterioro incipiente, por tratarse de un fallo múltiple o de un equipo crítico.

Con el uso de tecnologías o técnicas combinadas (predictivo-preventivo, o análisis de vibraciones-análisis de aceites) se puede:

- adelantarse al fallo mediante predicción y/o previsión
- adecuar los costes de actuación a los requerimientos.
- extender el mantenimiento a muchos más casos mejorando la disponibilidad global de la planta.

4.5 Mantenimiento efectivo.

Las opciones tácticas hasta ahora analizadas, de forma aislada o en combinación, se orientan específicamente hacia la búsqueda de causas de fallo, en base a la detección y al diagnóstico del fallo y a su “criticidad”, y se optimizan en base a la disponibilidad (fiabilidad+mantenibilidad) y a su coste o beneficio asociados.

Sin embargo, es posible observar que existen otras muchas implicaciones comprometidas durante el proceso de fallo, y la intervención de mantenimiento y sus tiempos muertos. Esas implicaciones pueden identificarse en la cadena de fallo, en especial cuando se estudia, aguas abajo, la “explosión de efectos” que el fallo provoca.

Esta focalización y esfuerzo de atención hacia los efectos, y no sólo de forma intensiva hacia las causas, es lo que promueve el mantenimiento efectivo.

Esta tecnología plantea básicamente lo siguiente:

- ✓ Sólo deben aplicarse los esfuerzos necesarios o efectivos, es decir aquellos que promueven el restablecimiento de una condición inicial o la mejora de esa condición, si ello conlleva un retorno económico y de oportunidad, o tasa interna de rentabilidad del esfuerzo, superior a los valores mínimos especificados, y de riesgo, por debajo de los máximos especificados como aceptables.
- ✓ En consecuencia, el inventario y contabilización de los efectos directos, indirectos, inducidos, colaterales, implicaciones y desencadenamiento, o impactos del fallo, son básicos en la toma de decisiones en mantenimiento. Una “desconsideración” de tales efectos superior al 5% puede modificar sensiblemente los niveles óptimos, con lo que la ineffectividad se convierte en ineficacia.
- ✓ Esa contabilización de los efectos requiere técnicas de organización, estadísticas (lógica borrosa y meta-heurísticos) y de medición.
- ✓ En consecuencia con el nuevo reto, se aplican a la obtención del retorno de la experiencia técnicas de “minería de datos” y en los modelos explicativos de conocimiento del comportamiento al fallo, análisis multivariante.
- ✓ Estas técnicas de minería de datos y análisis multivariante se soportan en red interna e Internet, de forma, que el acceso a los datos, su fuente y uso sea fluido y en tiempo real.

Aunque incipiente y debiendo demostrar su competitividad con otros modelos, sí parece un camino aceptable hacia lo que Conde (Conde, 1999) denomina Mantenimiento ligero (Lean Maintenance). Esta filosofía o concepto de mantenimiento requiere una actividad desprovista de esfuerzos innecesarios y poco productivos y donde el retorno de la experiencia, no sólo se produce con los datos técnicos de equipos de planta, sino también con los económicos y de organización.

1. CONCLUSIÓN

Se observa, cómo ya en la misma naturaleza del mantenimiento aparecen elementos ligados al conocimiento, ya que la técnica puede ser definida como la forma o manera de realizar una actividad, implicando, en consecuencia, la presencia de capital intelectual incorporado o no a los activos industriales o al personal. La especial acción o actividad del mantenimiento exige técnicas o conocimientos muy específicos y contingentes, de alto valor estratégico, que implican complejidad y elevados esfuerzos en su registro, transmisión y aplicación.

La meta del mantenimiento industrial puede ser definida como la consecución de requerimientos de disponibilidad en equipos e instalaciones, lo cual implica la ubicación de las actividades de mantenimiento en escenarios de elevada contingencia e incertidumbre, dónde contenidos informativos muy dinámicos, perecederos y específicos, y sus procedimientos de aplicación, se revelan como imprescindibles para una marcha eficiente de la planta.

De todas las opciones tácticas disponibles en mantenimiento, se confirma que en todas ellas, tiene un gran valor el peso del conocimiento, que afecta a los elementos estratégicos en los sistemas de Gestión del Mantenimiento, pero también a los tácticos y al desempeño. El mantenimiento requiere conocimientos técnicos y de organización muy especiales, habilidades y experiencia, no sólo

conocimientos teóricos, sino fundamentalmente prácticos (Jhonson et al., 2002).

Es necesario generar flujos de información y conocimiento que se deben fomentar relacionando diseño y operación, en consonancia con los aspectos que, desarrolla la función de mantenimiento.

2. REFERENCIAS

- Basim Al-Najjar and Mirka Kans. (2006). A model to identify relevant data for problem tracing and maintenance cost-effective decisions. A case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*. Vol. 55 No. 8, 2006. pp. 616-637.
- Boland, P.J.; Proscan, F., (1982). "Periodic Replacement with Increasing Minimal Repair Cost at Failure", *Operations Research*, 30, pp. 1083-1089.
- British Standards, (1964). Glossary of General Terms used in maintenance Organization. (BS 3811:1964).
- Cárcel Carrasco, F.J.; Grau, J. (2012). Aspectos estratégicos del mantenimiento industrial relativos a la eficiencia energética, *Revista Mantenimiento*. Nº 257, Septiembre. Pp 25-30.
- Conde, J. (1999). "El Mantenimiento efectivo: principios y métodos". Working paper, GIO-0500-UCLM, Ciudad Real.
- Cuesta Alvarez, M., (1984). "La mantenibilidad de equipos industriales y su repercusión en la disponibilidad." *Mantenimiento*, Julio-Agosto (1.984).
- Delgado, C. y García de la Fuente, M., (1.994). "Mantenimiento y sistemas expertos.", *Mantenimiento*, Mayo-Junio.
- Eade, G. (1979), "Planned Maintenance", *The Maintenance Diary*, Vol. II.
- García, J. et al. (1.980). "Teoría y Práctica del análisis modal", E.T.S.I.I, Universidad de Navarra,
- Garg, O. P. (1985); "Open Pit Mining Annual Review", *Mining Journal*, 337, Dic.
- Johnson, R., Hughes, G. (2002). Evaluation report on OTO 1999/092, human factors assessment of safety critical tasks. Report No. 33, Health and Safety Executive, UK.
- Sols, A; (2000). "Fiabilidad, Mantenibilidad, Efectividad, un enfoque sistémico", Comillas, Madrid .

F. J. Cárcel-Carrasco, Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia (España) , así como Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales por la UNED (España). Así mismo es Ingeniero en Electrónica por la Universidad de Valencia y Licenciado en Ingeniería mecánica y energética por la Universidad de Paris (Francia). Ha desarrollado su experiencia profesional en el sector industrial durante más de 25 años en diversas empresas industriales y de servicios. En la actualidad es profesor doctor en docencia e investigación, de la Universidad Politécnica de Valencia. Email: fracarcl@csa.upv.es

