

## Estudio de los servicios de aplicaciones en redes IP para la gestión del mantenimiento industrial.\*

José Miguel León Blanco<sup>1</sup>, Miguel Ángel Muñoz Pérez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Industrial, Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, C° de los Descubrimientos s/n 41092 Sevilla, miguel@esi.us.es

<sup>2</sup> Ingeniero Industrial, Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, C° de los Descubrimientos s/n 41092 Sevilla, miguelangel@esi.us.es

### RESUMEN

*La posibilidad que ofrecen las modernas redes de comunicaciones Internet/intranet de reducir los costes relacionados con sus sistemas de información se plasma en el empleo de proveedores de servicios de aplicaciones. Un campo que comienza a tomar auge es la preocupación por una gestión eficiente del mantenimiento de los activos de la empresa. Se facilita así a empresas de tamaño pequeño-mediano el acceso a herramientas potentes para gestión del mantenimiento.*

*Palabras clave:* Gestión del mantenimiento, ASPs, e-procurement.

### 1. Introducción.

En los últimos años, las tecnologías e-procurement han buscado reducir los costos empresariales a base de encontrar menores precios en las compras de forma más inmediata. Otra tendencia en el e-procurement aboga por reducir los costes totales de las compras de la empresa no basándose sólo en el precio de adquisición sino en el coste total del activo a lo largo de toda su vida útil en la empresa. Es en este aspecto donde cobran cada vez más importancia las políticas de mantenimiento industrial basadas en redes IP, tanto intranet como Internet.

### 3 Modelos de referencia para la gestión del mantenimiento industrial.

Para el diseño de modelos de referencia, se pueden emplear herramientas software específicas o bien los módulos de paquetes informáticos de propósito más general. En este sentido, SAP con su módulo ARIS proporciona un entorno para el modelado de procesos de negocio que puede emplearse con éxito para diseñar un modelo de referencia para la gestión del mantenimiento, aunque no tendrá las prestaciones de una herramienta específica.

#### 3.1 Integración de los sistemas de la empresa.

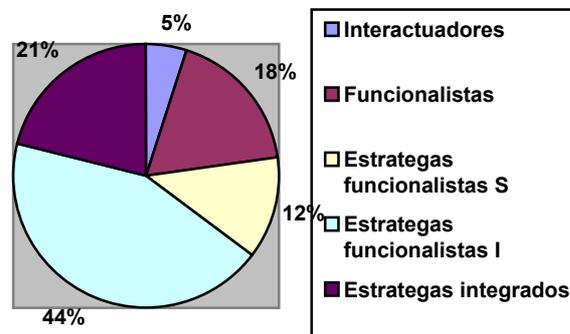
Por otro lado se tratan de establecer estándares en cuanto al diseño de estos modelos de gestión para sectores industriales muy concretos [1]. Uno de los puntos fundamentales para la integración de los datos es la integración de las distintas herramientas informáticas para que el intercambio de datos se realice de forma automática. En el caso de herramientas para la

---

\* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por CICYT con referencia DPI-2001-3110 titulado "Sistemas Híbridos para un control Integrado de la Producción"

gestión del mantenimiento de edificios, se está avanzando en este sentido [2]. La International Alliance for Interoperability (IAI) [3] ha desarrollado ya la segunda versión de Industry Foundation Classes (IFC), con la que, dentro del sector construcción y gestión de instalaciones, se facilita el intercambio de datos entre distintas herramientas software. De hecho, ya están implicados fabricantes de software comercial como Autodesk, Graphisoft R&D y Nemetschec, con versiones de sus productos certificadas por IAI. Otros fabricantes como CSIRO, Building Systems Design Inc., Microsoft Corporation, Fukui Computer Inc. y Eurostep se encuentran en una fase final de desarrollo de aplicaciones compatibles con la versión 2 de IFC.

La integración que se debe perseguir a todos los niveles de la empresa [4] es un objetivo que se consigue colocando de forma centralizada las aplicaciones como se consigue con un ASP, aunque esta integración no es algo que se persiga por un gran número de empresas. [4] distingue así cuatro filosofías de empresa: Interactuadores, que ponen su énfasis en la integración del mantenimiento en toda la empresa, dejando a un lado los planes de mantenimiento a más largo plazo; funcionalistas, que ponen menos interés que ningún otro tipo en la prevención, la mejora de la calidad y las posibilidades de producción; estrategias funcionales, que se caracterizan por su interés en los planes a largo plazo de mantenimiento mayor que en la integración de este en toda la empresa; por último, los estrategias integrados ponen tanto interés en los planes a largo plazo como en la integración. Los porcentajes relativos de estos grupos se muestran en la figura:



Fuente Jonsson 1999: Estudio de la empresa en Suecia

La complejidad de las industrias que implican nuevas tecnologías también se hace presente a la hora de realizar un mantenimiento eficaz. Esta presencia de tecnologías más complejas influye en el mantenimiento industrial en mayor medida de la percepción que tienen de este problema los gestores [5]. Se ha observado que una mayor complejidad técnica suele llevar consigo un mantenimiento más descentralizado, lo que implica mayor capacidad de comunicación y coordinación así como de una mayor destreza técnica, lo que suele implicar en las tareas de mantenimiento a personal más cualificado en las mismas que el propio que opera el equipo en cuestión.

Todo esto debe ayudar a gestionar de forma adecuada el mantenimiento de los equipos en planta. No debe dejarse de lado la integración de las tareas de mantenimiento con la gestión de la empresa. Se ha demostrado la utilidad de integrar el plan de mantenimiento con el plan de producción en empresas con un plan de producción jerárquico [6].

De lo que no cabe duda es de la necesidad de un sistema integrado de gestión del mantenimiento, sobre todo en aquellos sectores industriales en los que las consecuencias del fallo de los equipos pueden ser graves tanto para el entorno como para las personas. Se habla de la necesidad de dotar además de inteligencia artificial [7] a este tipo de aplicaciones, de forma que se ofrezca una guía de mantenimiento desde el propio sistema.

## **4 Sistemas informáticos para la gestión del mantenimiento.**

### **4.1 Paquetes informáticos comerciales.**

La mayoría de los grandes fabricantes de software comienzan a ofrecer paquetes para la gestión del mantenimiento industrial. Por un lado los grandes proveedores de soluciones ERP como SAP, Oracle, BaaN, PeopleSoft, Siebel o JDEdwards ya incluyen por un lado herramientas que permiten el diseño de modelos de referencia para la gestión del mantenimiento (entre otros procesos industriales) y por otro, módulos para el tratamiento de los datos para la gestión del mantenimiento. Estos módulos no suelen ofrecer las prestaciones de una herramienta específica, pero cuentan con la ventaja de integrar los datos de mantenimiento en el conjunto de los datos de operación de la empresa.

Existen además aplicaciones específicas para gestión del mantenimiento, GMAO que abarcan desde sencillas aplicaciones tipo freeware hasta soluciones completas de gestión. La propia selección de una aplicación adecuada a la empresa concreta, puede requerir un trabajo importante de consultoría.

### **4.2 Diseño de aplicaciones.**

Por otro lado, en el desarrollo de aplicaciones para el mantenimiento, se podrían emplear herramientas basadas en el ciclo de implantación de RCM[8]. Este ciclo de implantación descompone el problema de la aplicación de técnicas de mantenimiento de una forma muy similar a como la hace la especificación IFC con la gestión de activos. Por lo tanto es una tarea ya iniciada la implementación de estos procesos.

Se han realizado extensiones al modelo IFC de forma que permita también a las aplicaciones intercambiar información de los costes asociados a los elementos a lo largo del proyecto [9].

Algunas de las ventajas de contar con un software específico son citadas por Yam [10] y otros, que proponen el uso de una aplicación basada en una red neuronal recurrente para pronosticar la evolución de los equipos. Se conseguiría así reducir por un lado el inventario de repuestos frente al previsto en el diseño de los equipos (algo también propugnado por las técnicas R.C.M.), permitiría programar con mayor precisión las tareas de mantenimiento sobre condición, reduciendo al mismo tiempo las paradas inesperadas y el riesgo de fallos graves en el equipo.

El resultado de la simulación realizada con la red neuronal de las condiciones de trabajo del equipo puede servir de entrada a una herramienta integrada de gestión del mantenimiento propuesta por Tu y otros[11] para reducir de forma significativa los costes de mantenimiento del equipo.

### **4.3 Proveedores de servicios de aplicaciones.**

En la actualidad comienzan a tener cada vez más importancia los proveedores de servicios de aplicaciones al reducir de forma drástica los costos derivados de las nuevas tecnologías para la gestión de la información. Según un estudio de ASP Industry Consortium [12], las aplicaciones ofimáticas son por el momento las más demandadas de los ASP. Cerca de ellas en interés de los usuarios están las aplicaciones de contabilidad, comercio electrónico, CRM y correo electrónico. En este sentido, se observan bastantes proveedores que ofrecen servicios de aplicaciones CRM. Otros como IBM, anuncian SAP y Siebel como nuevas aplicaciones disponibles para hosting.

La reducción de costes que se obtiene al emplear un ASP en lugar de adquirir una aplicación GMAO es similar a la obtenida con otros tipos de aplicaciones y viene dada por tres frentes; no es necesaria la implantación de nuevas aplicaciones, con lo que el tiempo y coste de la aplicación queda sustituido por el del contrato con el proveedor del servicio; no es necesario personal informático cualificado específicamente dedicado al nuevo software; para terminar, las actualizaciones y el mantenimiento de la propia aplicación queda en manos del ASP.

Desde el punto de vista de la empresa, dentro de los nuevos costes a los que deberá hacer frente están los de conexión a la red. En poco tiempo se pasará de los únicos dos tipos de pago, tarifa plana o pago por tiempo de conexión, a otros esquemas en los que tiene que ver el tráfico generado o la calidad de servicio QoS demandada por el usuario [13], lo que dotará a las conexiones realizadas desde nuestra empresa de una escalabilidad que no se suele encontrar con los proveedores actuales. La mayoría de los datos de que se dispone a la hora de observar la evolución en el acceso a Internet, proceden de la situación de Estados Unidos, que es diferente de la europea. La distancia que separa a ambas formas de entender Internet no sólo no disminuye sino que aumenta, debido a las distintas situaciones políticas y de regulación a ambos lados del océano [14]. Por tanto la proposición que se hace en este trabajo sobre la oportunidad de subcontratar la gestión del mantenimiento de la empresa a un especialista, funcionando en un esquema ASP debe tomarse todavía con cautela.

Por otro lado, las ventajas específicas de contar con una empresa especializada en gestión de mantenimiento, es una forma de e-collaboration que trae como consecuencia el aprendizaje de las experiencias de terceros en el campo del mantenimiento, como ya se ha experimentado al pasar del sector aeronáutico a otros con la aplicación de técnicas de mantenimiento productivo total TPM y mantenimiento centrado en la fiabilidad RCM.

Desde el punto de vista del proveedor del servicio, la problemática es distinta. Los costes a los que debe hacer frente cualquier proveedor de servicios de Internet se han revelado como los más difíciles de afrontar por la dificultad inherente al funcionamiento. Se han propuesto gran cantidad de esquemas posibles para cobrar los servicios ofrecidos desde la web.

También se ha trabajado bastante en el campo de diseñar políticas de precios para servicios de aplicaciones desde Internet, de forma que no se caiga en las dificultades de los primeros tiempos de la generalización de la red. Lo que cobran los proveedores por usuario al mes por aplicaciones ERP ronda los 500 € [15], un coste muy inferior al de una implantación a medida. Para el proveedor, el problema es encontrar el número óptimo de suscriptores en un mercado con cada vez más competidores [15].

#### **4.4 Inteligencia artificial.**

La necesidad de herramientas que integren algún tipo de inteligencia para la selección adecuada de políticas de mantenimiento se hace evidente si se piensa en la multitud de diferentes modelos de mantenimiento y sustitución existentes en la actualidad. Algunos de ellos se pueden clasificar atendiendo a diferentes características [16].

Otra revisión de modelos de mantenimiento [17] se basa en tres variables: prevención, integración fuerte del mantenimiento e integración suave para distinguir las diferentes configuraciones del mantenimiento que pueden encontrarse en la empresa.

Por otro lado, el diseño de modelos matemáticos conducentes al desarrollo posterior de sistemas integrados para la gestión del mantenimiento no debe tomarse como una tarea aparte de los ingenieros y gestores que deben enfrentarse a diario a los problemas reales de operación si se desea que estos modelos sean adoptados en el mundo real [18]. Se han diseñado modelos [19] cada vez más potentes mediante el empleo de heurísticas que reducen los tiempos de computación hasta el 1% del necesario con algoritmos convencionales como el Branch and Bound. Otros métodos que se comienzan a emplear con éxito para la resolución del problema tanto de la programación de las actividades de mantenimiento como de la asignación óptima de los recursos disponibles son los algoritmos genéticos. Para evitar la convergencia hacia óptimos locales, un método computacionalmente eficiente es el de asignación priorizada de los recursos - PRAM [20].

Los modelos matemáticos deben tener su reflejo en el mundo real y no suelen encontrarse muchas aplicaciones que los implementen y pongan de manifiesto las dificultades que no aparecen sobre el papel. En este sentido, debe notarse [21] la complejidad inherente al aumento de periodos considerados en la simulación de modelos matemáticos en el mundo real, debiendo llegarse a un compromiso entre las prestaciones del modelo y la posibilidad de aplicarlo a diferentes escenarios.

#### **4.5. Diseño de modelos.**

En el diseño de aplicaciones GMAO es importante reconocer las distribuciones que tienen los fallos de los diferentes equipos en diferentes entornos productivos. Vineyard y otros [22] han estudiado las distribuciones de las tasas de fallo y reparación para un sistema típico de fabricación flexible, disponiendo de datos sobre fallos de elementos mecánicos, hidráulicos, eléctricos, electrónicos, software y humanos, además de las reparaciones. Realizan además suposiciones sobre sus distribuciones teóricas.

Uno de los trabajos que impulsa este es el de Mena [23], en el que se promueve la necesidad de sistemas automáticos de comprobación integrados (Consolidated Automated Support Systems – CASS). Esto hace que los modos de fallo ocultos se reduzcan en gran medida. Estos sistemas no solo son útiles en el mantenimiento industrial sino en toda la vida de los equipos. Incluso se puede considerar que algunos de los equipos que pueden fallar son precisamente los de comprobación automáticos (Automatic Test Equipment – ATE). En este caso las consecuencias deben ser mínimas. Así se ha comprobado en los equipos existentes en la marina norteamericana y los problemas que presenta el manejo de equipos ATE cuando aumenta la complejidad.

Una posibilidad de obtener la información necesaria para llevar a cabo un mantenimiento lo más adecuado posible al escenario en el que se emplean realmente los equipos son los cuestionarios, de los que se han diseñado un número enorme. Uno de ellos, el MRM/TOQ (Maintenance Resource Management/Technical Operations Questionnaire), se ha revelado como un índice bastante fiable de la comunicación y los programas de gestión del mantenimiento en aviación [24].

Otra de las tendencias es el estudio del aseguramiento probabilístico o PARA [25] como una ayuda en el RCM y su búsqueda de una optimización de los costes de mantenimiento, que en sectores de mayor responsabilidad son realmente elevados.

## **8. Cuestiones adicionales.**

Algo que parece evidente es la relación existente entre el buen funcionamiento de la empresa y el empleo de políticas proactivas de mantenimiento [26].

Otra estadística que puede resultar interesante a la hora de reconocer cual es el tamaño aproximado de los proyectos de mantenimiento más atractivos se encuentra en [27]. Lo cual nos dará una idea de la percepción que tienen las empresas reales de la importancia y rentabilidad de un proyecto de mantenimiento industrial, al menos en Arabia Saudita.

No se debe caer tampoco en el sobremantenimiento de los equipos. Algo que trata de evitar el R.C.M. mediante un estudio de las necesidades reales de utilización del equipo. Los problemas se suelen presentar cuando los fallos debido a la fatiga de los materiales no pueden ser evitados [28]. Lo que se observa es que, en muchos casos, el criterio principal no es el de mínimo coste de reparación sino el intervalo de tiempo entre inspecciones o el nivel mínimo de fiabilidad, lo que suele implicar un cambio en la calidad de las inspecciones.

En entornos en los que se hace más necesario el mantenimiento es en aquellos en que los equipos se encuentran sometidos a mayores esfuerzos que los normales o por su funcionamiento en medios más hostiles de aquellos para los que fueron diseñados. Es de notar los esfuerzos por aplicar técnicas correctas de mantenimiento, por un lado partiendo de diseños adecuados al entorno, y por otro, aprovechando las especiales condiciones de ese entorno para reducir los efectos que puedan ejercer sobre los equipos incrementando además el mantenimiento sobre condición [29].

Normalmente los modelos de mantenimiento no suelen incorporar la seguridad en las operaciones como parte de los mismos. La experiencia en la industria holandesa [30] indica que se suele prestar más atención a los componentes y sus características que al personal, a la documentación o a la descripción de los trabajos.

## **9. Conclusiones.**

El comercio electrónico no ha comenzado todavía a introducirse en el mantenimiento industrial, y es en Estados Unidos donde comienzan a darse los primeros pasos. La reducción de costes que implica una correcta aplicación de las técnicas de mantenimiento industrial no debe ignorarse ya que, en algún caso, pueden ser del 10 % de los costes de operación de la

empresa. Si esta reducción se consigue a base de una inversión menor y de un plazo de implantación que no llega al mes ([www.globalfactory.net](http://www.globalfactory.net)), se obtiene una herramienta óptima para la gestión de la empresa.

## Referencias

- [1] Hassanain, M.A., Froese, T.M., Vanier, D.J., (2001). "Development of a maintenance management model based on IAI standards", *Artificial Intelligence in Engineering*, 15, pp. 177-193.
- [2] Karhu, V. (1997). "Product model based design of precast facades", *Electronic Journal of information Technology in Construction*, ITcon, N°2, <http://itcon.org/1997/1/>.
- [3] International Alliance for Interoperability. [www.iai-international.org/iai\\_international/](http://www.iai-international.org/iai_international/)
- [4] Jonsson, P., (1999). "Company-wide integration of strategic maintenance: An empirical analysis", *International Journal of Production Economics*, N°60-61, pp. 155-164.
- [5] Swanson, L., (1997). "An empirical study of the relationship between production technology and maintenance management", *International Journal of Production Economics*, N°53, pp. 191-207.
- [6] Weinstein, L., Chung, C., (1999). "Integrating maintenance and production decisions in a hierarchical production planning environment", *Computers & Operations Research*, N°26, pp. 1059-1074.
- [7] Krige, G.J., (1998). "Management of Structural Maintenance", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 46, Nos. 1-3 pp. 409-410.
- [8] Hipkin, I.B., De Cock, C., (2000). "TQM and BPR: lessons for maintenance management", *Omega, The International Journal of Management Science*, 28, pp. 277-292.
- [9] Staub-French, S., Fisher, M., (2000). "Practical and research issues in using Industry Foundation Classes for construction cost estimating", *CIFE Working Paper*, n°56, Stanford University.
- [10] Yam, R.C.M., Tse, P.W., Li, L., Tu, P., (2001). "Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, N°17, pp. 383-391.
- [11] Tu, P.Y.L., Yam, R., Tse, P., Sun, A.O.W., (2001). "An Integrated Maintenance Management System for an Advanced Manufacturing Company", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, N°17, pp. 692-703.
- [12] The Computing Technology Industry Association:  
<http://www.comptia.org/sections/ssg/research.asp>
- [13] Altmann, J., Chu, K., (2001). "How to charge for network services – flat-rate or usage-based?", *Computer Networks*, N°36, pp. 519-531.
- [14] Bauer, J.M., Berne, M., Maitland, C.F, (2001). "Internet Access in the European Union and in the United States ", *Telematics and Informatics*, N°19, pp. 117-137.

- [15] Cheng, H.K., Koehler, G.J., (2002). "Optimal pricing policies of web-enabled application services" (en imprenta), *Decision Support Systems* N°969.
- [16] Wang, H., (2002). "A survey of maintenance policies of deteriorating systems", *European Journal of Operational Research*, N°139, pp. 469-489.
- [17] Jonsson, P., (2000). "Towards an holistic understanding of disruptions in Operations Management", *Journal of Operations Management*, N°18, pp. 701-718.
- [18] Scarf, P.A., (1997). "On the application of mathematical models in maintenance", *European Journal of Operational Research*, N°99, pp. 493-506.
- [19] Haghani, A., Shafahati, Y. (2002). "Bus maintenance systems and maintenance scheduling: model formulations and solutions", *Transportation Research Part A*, N°36, pp. 453-482.
- [20] Chan, W.T., Fwa, T.F., Hoque, K.Z., (2001). "Constraint handling methods in pavement maintenance programming", *Transportation Research Part C*, N°9, pp. 175-190.
- [21] Crespo, A., Sánchez, A., (2002). "Models for maintenance optimization: a study for repairable systems and finite time periods", *Reliability Engineering and System Safety*, N°75, pp. 367-377.
- [22] Vineyard, M., Amoako-Gyampah, K., Meredith, J.R. (1999). "Failure rate distributions for Flexible manufacturing systems: An empirical study", *European Journal of Operational Research*, N°116, pp. 139-155.
- [23] Mena, A.C., (1995). "CASS: Design for Supportability", *IEEE Aerospace Systems Magazine*, Enero 1995.
- [24] Taylor, J.C., (2000). "Reliability and validity of the Maintenance Resources Management/Technical Operations Questionnaire", *International Journal of Industrial Ergonomics*, N°26, pp. 217-230.
- [25] Duthie, J.C., Robertson, M.I., Clayton, A.M., Lidbury, D.P.G., (1998). "Risk-based approaches to ageing and maintenance management", *Nuclear Engineering and Design*, N°184, pp. 27-38.
- [26] Swanson, L., (2001). "Linking maintenance strategies to performance", *International Journal of Production Economics*, N°70, pp. 237-244.
- [27] Al-Arjani, A.H., (2002). "Type and size of project influences on number of bidders for maintenance and operation projects in Saudi Arabia", *International Journal of Project Management*, N°20, pp. 279-287.
- [28] Garbatov, Y., Guedes Soares, G., (2001). "Cost and reliability based strategies for fatigue maintenance planning of floating structures", *Reliability Engineering and System Safety*, N°73, pp. 293-301.
- [29] Oyeibisi, T.O., (2000). "On reliability and maintenance management of electronic equipment in the tropics", *Technovation*, N°20, pp. 517-522.
- [30] Hale, A.R., Heming, B.H.J., Smit, K., Rodenburg, F.G., van Leeuwen, N.D., (1998). "Evaluating safety in the management of maintenance activities in the chemical process industry", *Safety Science*, N°28, pp. 21-44.