

## **FUZZYMANT: Evaluación del mantenimiento utilizando técnicas difusas**

**Ángel M. Gento<sup>1</sup>, Alfonso Redondo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Organización de Empresas y CIM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Valladolid. Paseo del Cauce s/n 47011 Valladolid. gento@eis.uva.es

<sup>2</sup> Dpto. de Organización de Empresas y CIM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Valladolid. Paseo del Cauce s/n 47011 Valladolid. redondo@eis.uva.es

**Palabras clave:** fuzzy, mantenimiento, auditoría

### **1. Introducción**

El objetivo fundamental del mantenimiento es la consecución de un número determinado de horas disponibles de funcionamiento de la planta, instalación, máquina o equipo en condiciones de calidad de fabricación o servicio exigible con el mínimo coste y el máximo de seguridad para el personal que utiliza y mantiene las instalaciones y maquinaria.

A corto plazo, las acciones de mantenimiento cuestan caro a la Dirección y dificultan la producción; de ahí la importancia de poder justificar el fundamento de estas acciones a medio y largo plazo.

La importancia económica del mantenimiento es cada vez mayor. Así, se puede decir que los gastos de mantenimiento de las empresas españolas con ventas superiores a 1.500 millones de pesetas anuales representan aproximadamente el 6% del valor de esas ventas, lo cual nos lleva a la conclusión de que una buena gestión del mantenimiento que minimice dicho coste puede afectar de manera importante al nivel de beneficio alcanzado por las empresas.

Un correcto mantenimiento permitirá tanto la disminución de los costes indirectos provocados por la pérdida de producción como de los costes directos del propio mantenimiento.

La efectividad del mantenimiento comienza mucho antes del día en el que se produce la primera avería de una máquina, pues en el mismo instante de la concepción de ésta ya se determinan ciertas aptitudes como su fiabilidad, su mantenibilidad y su disponibilidad.

Un bajo nivel de mantenimiento genera unos costes elevados y un exceso de éste puede resultar más caro incluso que los daños producidos por los posibles fallos. Por este motivo, se debe tener muy clara la idea de que los costes de mantenimiento entran en el precio de venta de los productos fabricados.

El uso de índices o indicadores es recomendable, ya que de ese modo se cuantificará el estado de un programa de mantenimiento. Las características de los índices deben ser las siguientes: que se refieran a algún aspecto significativo, que sean claros, medibles, fáciles de obtener, fiables y objetivos.

No obstante en muchos casos los índices a determinar son difíciles de evaluar de forma cuantitativa, siendo útil el uso de la lógica difusa como elemento de valoración.

## 2. Lógica borrosa

La teoría de los conjuntos borrosos se ha desarrollado para intentar resolver problemas en los que la descripción de las actividades y las observaciones son imprecisas, vagas o inciertas. Esta noción de borrosidad existe en casi todas las circunstancias de la vida diaria: conjunto de flores rojas, conjunto de números cercanos a mil, etc. Estos conjuntos no pueden estar bien representados mediante la lógica clásica, pues según ésta, un elemento debe pertenecer o no a un determinado conjunto.

Para tratar estos problemas Zadeh propuso la teoría de los conjuntos borrosos en 1965 (Zadeh, 1965). La idea principal es bastante simple y natural: no se pueden establecer límites exactos a una clase de objetos definida de forma vaga, y propone representar la pertenencia o no de un elemento a una determinada clase por alguna medida con diferentes grados en una escala. Esta escala se denomina grado de pertenencia y también se puede entender como el grado de certidumbre que tenemos acerca de la pertenencia del elemento considerado a un determinado conjunto borroso. Los grados de pertenencia de un elemento a un determinado conjunto pueden depender del contexto en que se esté tratando un problema dado.

### 2.1 Definición.

Sea  $X$  un conjunto clásico de objetos, denominado espacio, cuyos elementos genéricos son denotados por  $x$ . La pertenencia a un subconjunto clásico  $A$  de  $X$  se suele denotar mediante la función característica  $\mu_A: X \in \{0,1\}$  definida por

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si y solo si } x \in A \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$

donde  $\{0,1\}$  se denomina conjunto de valuación.

Si en lugar de considerar los valores 1 y 0 (en el sentido de pertenencia o no al conjunto), consideramos el conjunto de valuación como el intervalo real  $[0,1]$ ,  $A$  se denomina subconjunto borroso de  $X$  (Zadeh, 1965) y  $\mu_A(x)$  es el grado de pertenencia de  $x$  a  $A$ . El mayor valor posible de  $\mu_A(x)$  es 1, y será cuando  $x$  pertenezca a  $A$  en su totalidad.

### 2.2 Números borrosos

Novák (1986) define un número borroso como un conjunto borroso convexo  $\hat{A}$  con una función de pertenencia continua a intervalos tal que hay unos puntos  $a_1 \leq a_0' \leq a_0'' \leq a_2$  que cumplen las siguientes propiedades:

1.  $\mu_A(x) = 0, \forall x \in (-\infty, a_1) \cup (a_2, \infty)$
2.  $\mu_A(x)$  es creciente  $\forall x \in (a_1, a_0')$
3.  $\mu_A(x)$  es decreciente  $\forall x \in (a_0'', a_2)$
4.  $\mu_A(a_1) = 0, \mu_A(a_2) = 0, \mu_A(x) = 1 \text{ "x" } \hat{A} (a_0', a_0'')$

Los números borrosos triangulares y trapezoidales (ver Figura 1) tienen como su nombre indica representaciones gráficas de formas triangular y trapezoidal. Un número borroso triangular tiene la siguiente función de pertenencia:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0 & x \leq m - \alpha \\ \frac{m-x}{\alpha} & m - \alpha \leq x \leq m, \alpha > 0 \\ \frac{x-m}{\beta} & m \leq x \leq m + \beta, \beta > 0 \\ 0 & x \geq m + \beta \end{cases}$$

y un número borroso trapezoidal se representa por:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 0 & x \leq m_1 - \alpha \\ \frac{m_1 - x}{\alpha} & m_1 - \alpha \leq x \leq m_1, \alpha > 0 \\ 1 & m_2 \leq x \leq m_2 \\ \frac{x - m_2}{\beta} & m_2 \leq x \leq m_2 + \beta, \beta > 0 \\ 0 & x \geq m_2 + \beta \end{cases}$$

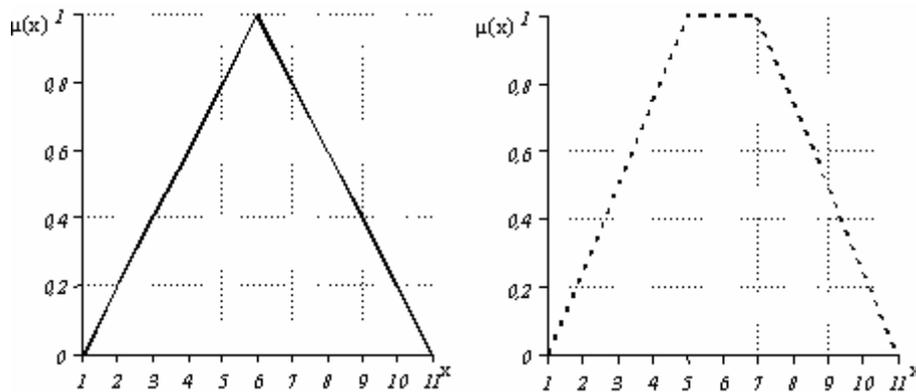


Figura 1. Números borrosos triangular y trapezoidal.

### 3. Mantenimiento

Para conservar los equipos de producción recurrimos al Mantenimiento Industrial, entendido como el conjunto de técnicas encargadas del pleno funcionamiento de las instalaciones y maquinaria, formando a los operarios en su labor cotidiana.

El término ‘mantenimiento’ tiene su origen en el vocabulario militar, en el sentido de: “mantenimiento en las unidades de combate, del efectivo y del material a nivel constante”. La aparición de este término en la industria, ocurrió hacia 1.950 en los Estados Unidos.

La definición de Mantenimiento según la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) en su norma NF X 60-010 es: “conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien en un estado específico o en la medida de asegurar un servicio determinado”. Esta definición olvida el aspecto económico, laguna que es llenada en el documento de introducción NF X 60-000: “mantener bien es asegurar las operaciones al coste global óptimo”.

El objetivo fundamental del mantenimiento es la consecución de un número determinado de horas disponibles de funcionamiento de la planta, instalación, máquina o equipo en condiciones de calidad de fabricación o servicio exigible con el mínimo coste y el máximo de seguridad para el personal que utiliza y mantiene las instalaciones y maquinaria.

A corto plazo, las acciones de mantenimiento cuestan caro a la Dirección y dificultan la producción; de ahí la importancia de poder justificar el fundamento de estas acciones a medio y largo plazo.

El objetivo principal de una empresa industrial se puede decir que es producir al mínimo coste con la máxima calidad. Para ello juega un papel primordial el equipo de mantenimiento, ya que la productividad de la empresa depende en gran medida de su eficacia

Un correcto mantenimiento permitirá tanto la disminución de los costes indirectos provocados por la pérdida de producción como de los costes directos del propio mantenimiento.

### **3.1 Tipos de mantenimiento**

#### **3.1.1 Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo es el conjunto de acciones encaminadas a la reparación de la máquina cuando ha dejado de funcionar. Este tipo de mantenimiento no es programable y lleva asociado un alto coste: mano de obra, materiales utilizados y lo ‘no fabricado’ durante el tiempo que la máquina o línea está parada.

Se puede descomponer en los dos tipos siguientes:

- **Mantenimiento paliativo:** son los arreglos, es decir, la puesta en funcionamiento del elemento al que una avería ha hecho parar o funcionar irregularmente para poder seguir produciendo, si no es a plena producción, sí a un alto porcentaje de carga. Se trata de reparaciones provisionales hechas con la idea de que, en cuanto se pueda, se hará una reparación definitiva.
- **Mantenimiento curativo:** son las reparaciones, hechas en el mismo lugar donde se produjo la avería o en el taller, que se realizan tras el arreglo. Se trata de las reparaciones definitivas tras las provisionales comentadas en el párrafo anterior.

El mantenimiento correctivo también lleva implícito el concepto de mejora si tras el arreglo y la reparación se analizan las causas de la avería y se registran, lo cual facilitará la realización de acciones posteriores encaminadas a que no vuelva a ocurrir el fallo o avería. Aquí es donde entra en juego una buena gestión del mantenimiento correctivo para que no se quede sólo en un mero: “arreglar las máquinas sin analizar lo ocurrido”, lo cual es bastante frecuente en las pequeñas y medianas empresas, principalmente.

#### **3.1.2 Mantenimientos preventivos**

La definición de Mantenimiento Preventivo según la norma AFNOR (NF X 60-010) es: “mantenimiento efectuado con la intención de reducir la probabilidad de fallo de un bien o la degradación de un servicio prestado”.

Debe tenerse en cuenta que cualquiera que sea el nivel de mantenimiento preventivo aplicado, siempre existen fallos residuales que obligan a la intervención correctiva, de ahí la complementación que existe entre los mantenimientos correctivos y preventivo. Los mantenimientos preventivos lo que sí harán es reducir la posibilidad de que se produzcan fallos aleatorios.

El mantenimiento preventivo propiamente dicho es el conjunto de acciones encaminadas a la inspección periódica de las máquinas para reponer piezas desgastadas o próximas a fallar. Es un mantenimiento planificado, pero lleva asociados unos costes bastante altos: mano de obra especializada, lo no producido durante el tiempo empleado y las piezas que se cambian quizás antes de que fuesen a fallar.

El nombre que reciben esas acciones sistemáticas planificadas para prevenir las averías es el de gamas del mantenimiento preventivo. Las gamas no son algo que permanece estático en el tiempo, sino todo lo contrario. Cambiarán continuamente las directrices, se añadirán unas nuevas o se eliminarán otras, se cambiará la frecuencia de las mismas, los repuestos, etc. El sistema de gestión del mantenimiento preventivo debe permitir todos estos cambios y, además, hacerlo de una forma fácil y amigable.

Un punto muy importante de la gestión del mantenimiento preventivo es el proceso de asignación de las gamas, que puede llegar a ser muy complejo si el número de gamas a realizar es muy elevado y no se posee un sistema de asignación potente y eficaz como el que se provee en la aplicación de la que es objeto este proyecto.

Se consideran variantes del mantenimiento preventivo las siguientes: el mantenimiento sistemático, el mantenimiento de ronda e incluso el mantenimiento predictivo. Ahora se va a desarrollar cada uno de ellos brevemente.

- **Mantenimiento sistemático:** Según la norma AFNOR (NF X 60-010) es el “mantenimiento preventivo efectuado de acuerdo con un plan establecido según el tiempo o el número de unidades fabricadas”.
- **Mantenimiento de ronda o de vigilancia:** es un tipo de mantenimiento preventivo que se define como “la vigilancia regular del material, a base de rondas de frecuencia corta que entrañan pequeños trabajos, cuando es necesario”. Su fin es encontrar fallos menores que a la larga pudieran provocar otros fallos mayores.
- **Mantenimiento predictivo:** conjunto de acciones encaminadas a la toma de datos y su análisis para comprobar posibles desviaciones en el funcionamiento de las máquinas. Después, durante una parada, se devolverá la máquina a sus condiciones óptimas, realizando todos los cambios que sean oportunos.

### **3.1.3 Mantenimiento productivo**

Este tipo de mantenimiento es el que engloba tanto el mantenimiento correctivo como los diferentes tipos de mantenimiento preventivo.

### **3.1.4 Mantenimiento de mejora**

Se entiende por mantenimiento de mejora todas aquellas acciones encaminadas a lograr unas nuevas condiciones productivas que permitan mejorar el rendimiento del proceso.

### 3.1.5 Mantenimiento productivo total

El mantenimiento productivo total, también conocido como mantenimiento integrado de producción, engloba el mantenimiento productivo y el mantenimiento de mejora, es decir, engloba tanto los mantenimientos correctivos, como los preventivos y de mejora.

Dada la gran variedad y tipos de mantenimiento que se pueden realizar en una organización, cabe preguntarse acerca de la eficacia y eficiencia del mismo.

## 4. Nuestro modelo

Este trabajo tiene como objetivo principal, el analizar el funcionamiento de un equipo de mantenimiento industrial, dentro de una organización, para así poder conocer sus puntos fuertes y los más débiles.

Como un objetivo posterior al conocimiento de las debilidades del equipo antes mencionado, será el realizar los planes de acción necesarios para mejorar los puntos menos valorados y que tienen una importancia grande dentro de la organización.

Este método es un instrumento que sirve para:

- Valorar la calidad del mantenimiento mediante fichas que permiten calcular el nivel actual de organización del mantenimiento
- Determinación de objetivos de progreso mediante la definición de un nivel a alcanzar y por consiguiente la identificación clara de ejes de actuación a producir.
- Construcción de un plan de evolución del mantenimiento.

Está basado en el denominado método AUDIMAIN. El método original se basa en 18 fichas que cubren 210 condiciones de buen funcionamiento que cualquier mantenimiento debe cumplir. Estas fichas se han adaptado para considerar las particularidades de la empresa analizada.

Los puntos que se van a analizar en la auditoria de mantenimiento propuesta son los indicados en la Tabla 1.

**Tabla 1. Método de auditoría adaptado.**

<b>Conjuntos</b>	<b>Fichas básicas</b>	<b>¿Pregunta a responder?</b>	<b>Nº de preguntas</b>
Política de Mantenimiento:	Objetivos del mantenimiento	¿Se asumen los principales objetivos del mantenimiento	12
	Hacer o subcontratar	¿Se hace hacer todo lo que no se sabe o no se quiere hacer?	12
	Realización con el encargado de la explotación	¿Se hace lo posible para desarrollar una estrategia de sinergia con el cliente (encargado de la explotación)?	12

	Sistema de gestión	¿Se dispone de un sistema de pilotaje de la actividad mantenimiento, liviano pero eficaz?	12
Métodos de Mantenimiento	Solución de averías	¿Se hace lo necesario para eliminar las averías?	12
	Mantenimiento preventivo	¿Se disponen de planes de mantenimiento preventivo adaptados?	12
	Preparación del trabajo	¿Se asegura una preparación con miras a mejorar la productividad del mantenimiento?	12
	Carga del trabajo	¿Se domina la carga de trabajo?	12
	Lanzamiento de los trabajos	¿Se distribuyen correctamente los trabajos a ejecutar?	12
	Subcontratación de los trabajos	¿Se elaboran pliegos de condiciones precisos y buenos expedientes para tratar las prestaciones externas?	12
Seguimiento de los equipos	Nuevas instalaciones	¿Se adquieren los equipos en buenas condiciones?	9
	Seguimiento técnico	¿Se gestiona correctamente la información histórica?	12
Recursos del mantenimiento:	Taller de mantenimiento	¿Se organizan bien los espacios de trabajo?	10
	Personal de mantenimiento	¿Son eficaces los equipos de mantenimiento?	12
	Instrumentos-herramientas	¿Se dispone de los aparatos de control, herramientas y medios de manutención correctos?	12
	Proveedores	¿Se trabaja con subcontratistas de calidad?	12
	Documentación	¿Se dispone de una documentación completa y accesible?	12
	Recambios	Se dominan los abastecimientos de recambios	12

De todos ellos, se va a solicitar la evaluación por parte del auditor utilizando etiquetas lingüísticas de la situación actual. En esta primera etapa de aplicación del modelo propuesto y para no dificultar la obtención de datos por parte de los expertos de la empresa, hemos optado por la utilización de un número muy reducido de etiquetas (únicamente 3) aunque el esquema de trabajo sería exactamente el mismo si este número fuera mayor.

## 5. Futuros desarrollos

Una vez evaluado el sistema mediante la auditoría, el siguiente paso debería ser por parte de la dirección proporcionando el referencial para cada uno de los apartados y de esta forma saber dónde y cuánto es necesario mejorar.

## **Bibliografía**

Gento, A.M.; Redondo, A. (2003). "Rough sets and maintenance in a production line". *Expert Systems*, Vol. 20, No. 5, 271-279.

Lavina, Y. (1990). *Audit de la maintenance*. Editions d'organisation.

Monchy, F. (1990). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*. Masson.

Rey Sacristán, F. (1996). *Hacia la excelencia del mantenimiento*. T.G.P.-Hospin.

Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy sets". *Information and Control*, Vol. 8, 338-353.