

Título: Indicador general para la determinación del Nivel de Gestión del Mantenimiento (INGM).

Autores*: MSc Ing Aramis Alfonso LLanes
MSc Ing Kely Hernández Pascual
Ing Alberto Yorgen Betancourt Montero
Ing Braydy Lara Cruz
Ing William Fernández Campusano

* Profesores del Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ciencias Empresariales. Universidad Central de las Villas. Cuba

RESUMEN

El trabajo muestra una metodología para el diseño de un indicador general para la evaluación del Nivel de Gestión del Mantenimiento en una empresa para lo cual se desarrolla, primeramente, una jerarquización de los indicadores claves para este fin según su influencia en la toma de decisiones, empleando un trabajo en grupo (expertos) y mediante la utilización del método AHP de Saaty. Todo ello con una visión preactiva de la actividad de control de la Gestión del Mantenimiento, contribuyendo al logro de una mayor eficiencia y efectividad de este proceso y al mejoramiento continuo del accionar de la organización.

Palabras Claves: Gestión del Mantenimiento, Evaluación, Indicadores

1. Introducción

El mantenimiento es una disciplina integradora que garantiza la disponibilidad, funcionalidad y conservación del equipamiento, siempre que se aplique correctamente, a un costo competitivo. En la actualidad, el mantenimiento está destinado a ser uno de los pilares fundamentales de toda empresa que se respete y que considere ser competitiva. Dentro de las diversas formas de conceptualizar el mantenimiento, la que al parecer presenta más actualidad, y al mismo tiempo resulta más abarcadora, es aquella que lo define como *“el conjunto de actividades dirigidas a garantizar, al menor costo posible, la máxima disponibilidad del equipamiento para la producción; visto esto a través de la prevención de la ocurrencia de fallos y de la identificación y señalamiento de las causas del funcionamiento deficiente del equipamiento”* [Tavares, 2000].

Al inicio de todo proceso de Mejoramiento, ya sea a nivel personal como de organización, se exige, como primera etapa, que se adquiera conciencia de la realidad y, posteriormente, que se definan los objetivos a alcanzar. Entretanto, una vez iniciado el proceso, es necesario monitorear el progreso alcanzado, a través de observaciones y comparaciones a lo largo del tiempo, de parámetros que definan claramente el grado de calidad de dicho desempeño, constatando, sin subjetivismo, si se ha mejorado con respecto al inicio del período.

Por qué evaluar y controlar la gestión de mantenimiento en las empresas?. Sencillamente porque se necesita saber cuán eficiente es la aplicación de la política de mantenimiento que se ha planificado para el entorno productivo de la empresa. Esta información permite actuar de forma rápida y precisa sobre los factores débiles en nuestro mantenimiento. Una buena política para controlar y evaluar la gestión de mantenimiento en la empresa resulta de la implantación, estudio y análisis de un paquete de indicadores.

Un número relativamente grande de índices ha sido sugerido para monitorear su desempeño, con resultados no siempre consistentes. En realidad, la cantidad de indicadores divulgados por la

bibliografía especializada con este fin, llega a confundir un poco, sobre todo si no existe una cultura con respecto a su utilización en la empresa.

Es evidente que en la selección de aquellos “pocos” índices que describan de manera más eficaz el desempeño del mantenimiento, es esencial tener en cuenta la concepción moderna de la actividad de mantenimiento, vinculado esencialmente a sus objetivos, o sea, aquello que de ella se espera.

En la actualidad la toma de decisiones respecto al desempeño de los sistemas de mantenimiento, constituye indiscutiblemente un aspecto de primer orden a resolver, ya que mediante la garantía del mismo se propicia, no solo la adecuada evaluación y control de la gestión del mantenimiento con vistas a lograr su mejoramiento continuado, sino, además, el logro de una mayor disponibilidad de las capacidades productivas instaladas en la entidad bajo estudio; ya que en la práctica el proceso decisional en esta área se dificulta por el hecho de disponerse de una amplia gama de indicadores propuestos al respecto sin una definición clara del grado de importancia de cada uno de ellos a la hora de valorar la influencia de la actividad de mantenimiento en la meta de la organización.

El objetivo general que se persigue en el presente artículo consiste en la definición de los indicadores claves para la evaluación del desempeño de la actividad de mantenimiento, así como su jerarquización acorde a su nivel de influencia en el proceso de toma de decisiones.

2. Los indicadores de mantenimiento

AL inicio de todo proceso de mejoramiento, ya sea a nivel de individuos o de las organizaciones, exige, como primera etapa, que se adquiera conciencia de la realidad y posteriormente, que se definan los objetivos a alcanzar y los medios para ello. Entre tanto, una vez iniciado el proceso, es necesario monitorear el progreso alcanzado, a través de observaciones y comparaciones, a lo largo del tiempo, de parámetros que definan claramente el nivel de calidad del desempeño organizacional, constatando, sin subjetivismo, si se ha mejorado o no respecto a la situación inicial [De Gusmao, 2001].

En lo que se refiere a la actividad de mantenimiento en una empresa industrial, la necesidad de un procedimiento de este tipo es mucho más reconocida. Una variedad relativamente grande de indicadores ha sido sugerida para monitorear su desempeño, con resultados no siempre consistentes.

Resultaría difícil entender el estudio que se realiza en este epígrafe sin antes detenerse en el análisis de la siguiente definición:

Indicador o Índice: Es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas o percepción de los clientes en cuanto a costo- calidad y plazos. [Hernández Cruz y Navarrete Pérez, 2001]

Tradicionalmente los indicadores se han visto reactivamente, o sea, utilizándolos para mirar hacia atrás con vistas a planear el futuro, sin embargo se ha venido provocando un cambio en este sentido encaminado a utilizar los indicadores con una visión proactiva, o sea, para tomar decisiones hacia el futuro, manejándolos.

Las características fundamentales que deben cumplir los indicadores de mantenimiento, siempre con la mirada puesta en lo que se desea alcanzar con el mantenimiento industrial, son las siguientes:

- Pocos, pero suficientes para analizar la gestión.
- Claros de entender y calcular.
- Útiles para conocer rápidamente como van las cosas y por qué

Es por ello que los índices deben:

- Identificar los factores claves del mantenimiento y su afectación a la producción.
- Dar los elementos necesarios que permiten realizar una evaluación profunda de la actividad en cuestión.
- Establecer un registro de datos que permita su cálculo periódico.

- Establecer unos valores plan o consigna que determinen los objetivos a lograr.
- Controlar los objetivos propuestos comparando los valores reales con los valores planificados o consigna.
- Facilitar la toma de decisiones y acciones oportunas ante las desviaciones que se presentan.

Como sugerencia para el análisis de los índices se puede señalar [Tavares, 1998]:

1. El análisis no debe presentar conclusiones especulativas. Las variaciones para mejorar o empeorar deben ser tomadas como síntomas que fueron discutidos en conjunto entre los departamentos de control y ejecución y podrán indicar necesidades de alteración de métodos de trabajo.
2. Antes de emitir comentarios sobre los resultados del análisis de índices, el órgano de control debe estar seguro de que los datos que les dieron origen son confiables.
3. El análisis debe tener observaciones negativas que deben estar acompañadas de sugerencias de alternativas para mejorar que deben ser discutidas con los supervisores del área de ejecución de mantenimiento antes del registro en el informe de análisis.
4. Es válida la colocación de valores comparativos, entre períodos diferentes o valores promedios obtenidos en el año anterior, para su examen respecto a los resultados de disposiciones gerenciales, tomadas en función de análisis anteriores.
5. Establecer metas para la mejora de los índices, junto con el área ejecutante.

Es importante, para el trabajo con los indicadores, tener presente los errores o defectos más usuales en los que se ha incurrido en los lugares donde se ha trabajado en este sentido, los mismos son los siguientes [Tavares, 1998]:

- Inadecuada selección de los índices, excesivos en número y no jerarquizados.
- Insuficiente y confusa definición que provoque diferentes interpretaciones y/o cálculos.
- Escasa o nula identificación de la relación existente entre el índice y los factores críticos.
- Inadecuación en los sistemas de captación de datos para el cálculo de los índices, cálculos erróneos y/u obtenidos con retraso, con lo cual se pierde la aptitud y rapidez de acción.
- Falta de establecimiento de valores objetivos y dificultades en obtener la información adecuada.
- Carencia de controles sistemáticos.
- Dilación en la toma de decisiones.

Los índices de control en la gestión de mantenimiento deben tener carácter diferenciado en cuanto a su volumen y características estando esta diferenciación sujeta a los niveles de dirección de la entidad. La eficacia de la función de mantenimiento es algo difícil de medir de una forma aislada, ya que sus actuaciones no pueden considerarse independientes, sino encuadrada en equipos de trabajo y relacionados con otros departamentos. [MINBAS, 1996]

Dentro de la aplicación, ejecución, y control de un sistema de mantenimiento existen diferentes etapas, que las mismas pueden ser medidas a través de la citación de diferentes índices (Intervención, defectos, fuerzas de trabajo) que en su determinación van a permitir analizar el desenvolvimiento del sistema aplicado. Apoyándose en la información que brindan estos índices como medios de control, se puede determinar la calidad del mantenimiento efectuado y así poder corregir las deficiencias en el sistema.

Existen una gran cantidad de autores que han sentido interés en tratar de darle solución a los problemas del control del mantenimiento dado el papel tan importante que juega este en las diferentes empresas. Uno de los principales documentos sobre el tema es el realizado por Tavares [2000], donde plantea una serie de indicadores los cuales son divididos en cuatro grupos fundamentales

Otros autores [Amendola, 2002; Galvão Zen, 1998; Gusmão, 2001; Navarrete Pérez y Gonzáles Martín, 1986; Navarrete Pérez y Hernández Cruz, 2001] además de las coincidencias con Tavares [2000] también proponen otros índices como es el caso de la Confiabilidad Operacional, Utilización, Mantenibilidad, Tiempo Medio de Vida, una serie de elementos primarios con los cuales se pueden calcular un grupo importante de indicadores para un mejor control del mantenimiento, entre otros.

3. Determinación del Nivel de Gestión del Mantenimiento en la empresa

Partiendo de la hipótesis de que existe un conjunto de indicadores mediante los cuales es posible realizar una evaluación del estado del mantenimiento y que el mejoramiento de estos índices eleva el nivel de excelencia en la gestión del mantenimiento y que a su vez dicho mejoramiento incide positivamente en los resultados económicos de la empresa, es que se desarrollan en el presente apartado todos los pasos necesarios para definir y determinar el Nivel de Gestión de Mantenimiento (NGM).

3.1 Determinación de un Patrón de Gestión del Mantenimiento y su estado deseado

Para desarrollar este acápite se utilizan dos etapas:

1. Seleccionar dentro de un gran conjunto de índices, los principales para medir el desempeño de la gestión del mantenimiento.
2. Caracterización de índices (factores) medidores del nivel de gestión del mantenimiento.

3.1.1 Establecimiento del conjunto de indicadores medidores del nivel de gestión del mantenimiento

Partiendo de estudios previos, experiencia consultora y una adecuada revisión bibliográfica [De Gusmao, 2001; Dunn, 2004; Hernández Cruz y Navarrete Pérez, 2001; Tavares, 1998], se obtienen más de 110 indicadores o variables que miden el funcionamiento del mantenimiento (técnicos, organizativos, económicos-financieros y sociales).

Luego de realizar una consulta a expertos y teniendo en cuenta sólo las variables fundamentales que miden por lo general las empresas líderes se realizó una iteración de decantación, quedando una reducida lista de 28 indicadores (variables), las cuales se estratifican determinando los ocho factores encargados de evaluar la gestión del mantenimiento, los cuales se detallan a continuación:

1. Nivel de Información.
2. Productividad Total Efectiva de los Equipos (PTEE)
3. Nivel de incidencia de la función de mantenimiento en los costos de la empresa.
4. Existencia de un sistema formal de medidas para determinar la efectividad del mantenimiento.
5. Capacidad de los obreros del mantenimiento de enfrentar con éxito los problemas correspondientes a esta función.
6. Existencia de un sistema formal de planificación y programación de trabajos de mantenimiento.
7. Nivel de adopción de sistemas de mantenimiento informatizados.
8. Seguridad del personal y del Medio Ambiente.

3.1.2 Caracterización de los factores medidores del Nivel de Gestión del Mantenimiento

En este epígrafe se realiza la caracterización de cada uno de los factores identificados en el apartado anterior.

Nivel de Información

Este factor tiene como objetivo evaluar la disponibilidad, en la entidad, de la información necesaria para la toma de decisiones relativas a la gestión del mantenimiento. De esta forma, se persigue verificar la disponibilidad de toda la información técnica, las características de funcionamiento, la ubicación, la prioridad del equipo, el estado actual, los planes de mantenimiento, las órdenes de trabajo ejecutadas y por ejecutar, los costos de mano de obra, materiales y repuestos en diferentes períodos, el personal que ha intervenido el equipo, componentes y repuestos asociados al mismo, las notas relevantes sobre el equipo, la ubicación dentro del sistema (jerarquía), los tiempos de paro, los modos de fallo y sus causas, los tiempos de funcionamiento, las señales de alarma, el valor de compra, el proveedor, la fecha de adquisición del bien y en general toda la información requerida para gestionar su mantenimiento, así como también para uso de otras áreas: almacén, operación, comercial, montajes, entre otros.

Productividad Total Efectiva de los Equipos (PTEE)

La PTEE es una medida de la productividad real de los equipos. Esta medida se obtiene según la ecuación 1.

$$PTEE = AE \times OEE \quad (1)$$

AE- Aprovechamiento del equipo

Se trata de una medida que indica la cantidad del tiempo calendario utilizado por los equipos. Esta medida es sensible al tiempo que habría podido funcionar el equipo, el AE se puede interpretar como un porcentaje del tiempo calendario que ha utilizado un equipo para producir.

Para calcular el AE se pueden aplicar los pasos que se detallan a continuación.

1. Establecer el tiempo base de cálculo o tiempo calendario (TC).
2. Obtener el tiempo total no programado
3. Obtener el tiempo de paros planeados
4. Calcular el tiempo de funcionamiento (TF, Ver ecuación 2)

$$TF = \text{Tiempo calendario} - (\text{Tiempo total no programado} + \text{Tiempo de paros planeados}) \quad (2)$$

Resultando el cálculo del aprovechamiento del equipo según se muestra en la ecuación 3.

$$AE = (TF/TC) \times 100 \quad (3)$$

Y representa el porcentaje del tiempo calendario que realmente se utiliza para producir.

OEE- Efectividad Global del Equipo (*Overall Equipment Effectiveness*)

Esta medida evalúa el rendimiento del equipo mientras está en funcionamiento. La OEE está fuertemente relacionada con el estado de conservación y productividad del equipo mientras está funcionando. Cabe recalcar que este indicador se maneja de forma diaria y está compuesto por los siguientes tres factores:

- **Disponibilidad:** Mide las pérdidas de disponibilidad de los equipos debido a paros no programados.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo neto disponible}} \quad (4)$$

En donde:

$$\text{Tiempo neto disponible} = \text{Tiempo extra} + \text{Tiempo total programado} + \text{Tiempo de paro permitido} \quad (5)$$

$$\text{Tiempo operativo} = \text{Tiempo neto disponible} - \text{Tiempo de paros de línea} \quad (6)$$

- **Eficiencia:** Mide las pérdidas por rendimiento causadas por el mal funcionamiento del equipo, no funcionamiento a la velocidad y rendimiento original determinada por el fabricante del equipo o diseño.

$$\text{Eficiencia} = \frac{(\text{Tiempo tacto})(\text{Piezas producidas})}{\text{Tiempo operativo}} \quad (7)$$

En donde:

$$\text{Tiempo tacto} = \frac{\text{Tiempo neto total diario}}{\text{Demanda total diaria}} \quad (8)$$

- **Calidad a la primera (FTT):** Estas pérdidas por calidad representan el tiempo utilizado para producir productos que son defectuosos o tienen problemas de calidad. Este tiempo se pierde, ya que el producto se debe destruir o re-procesar.

$$FTT = \frac{(\text{Partes producidas}) - (\text{Total de partes defectivas})}{\text{Partes producidas}} \quad (9)$$

En donde:

$$\text{Total de partes defectivas} = \text{Piezas defectuosas} + \text{retrabajos o recuperaciones} \quad (10)$$

El cálculo de la OEE se obtiene multiplicando los anteriores tres términos expresados en porcentaje.

$$OEE = \text{Disponibilidad} \times \text{Eficiencia} \times \text{FTT} \quad (11)$$

La OEE sirve para construir índices comparativos entre plantas (*benchmarking*) para equipos similares o diferentes. En aquellas líneas de producción complejas se debe calcular la OEE para los equipos

componentes. Esta información será útil para definir el tipo de equipo en el que hay que incidir con mayor prioridad con acciones de mantenimiento.

Nivel de incidencia de la función de mantenimiento en los costos de la empresa

La eficiencia de toda actividad dentro de la empresa con vistas a lograr costos razonables del sistema en su todo es una cuestión que es supervisada muy de cerca por todo directivo en las organizaciones de hoy en día. Estudios realizados relativos a los costos asociados al mantenimiento de las plantas productivas arrojaron que los mismos pueden llegar a representar entre el 10 y el 25 % del costo total de manufactura del producto que se elabora.

En el área de mantenimiento es recomendable controlar una serie de índices relativos a los costos asociados a la misma; dentro de ellos se deben considerar los que se detallan a continuación:

- Costo relativo con personal propio
- Componente del costo de mantenimiento
- Costo relativo con material
- Costo de mano de obra externa
- Costo de mantenimiento con relación a la producción
- Costo de capacitación
- Inmovilizado en repuestos
- Costo de mantenimiento por valor de venta
- Costo global

Existencia de un sistema formal de medidas para determinar la efectividad del mantenimiento

En la actualidad todo gerente de empresa conoce la importancia de medir el desempeño de la actividad de mantenimiento, sencillamente porque se necesita conocer cuán eficiente es la aplicación de la política de mantenimiento que se ha planificado para el entorno productivo de la empresa. Esta información permite actuar de forma rápida y precisa sobre los factores débiles en la gestión del mantenimiento. Por otro lado, el reto lo constituye qué medir y cómo hacerlo de la mejor forma [De Gusmao, 2001; Galli Mondragón, 2003; Hernández Cruz, 2001].

Una de las herramientas que permite y constituye uno de los elementos básicos de una eficiente gestión del mantenimiento es mantener un correcto sistema de medición. Dicho sistema no sólo debe permitir medir la eficiencia y avance de las reparaciones, sino que debe permitir una de las actividades principales de cualquier gerencia, la toma de decisiones. Determinar si el sistema de medición y control permite un adecuado desarrollo de las operaciones de mantenimiento es una de las más difíciles, esenciales y determinantes tareas a las que un ejecutivo se puede enfrentar.

Se debe dejar claro que no es necesario tener bajo control continuo muchos indicadores, sino sólo los más importantes, los claves. Los indicadores que engloban fácilmente el desempeño total del negocio deben recibir la máxima prioridad. El paquete de indicadores puede ser mayor o menor, dependiendo del tipo de negocio y sus necesidades específicas.

Capacidad de los obreros de mantenimiento de enfrentar con éxito los problemas correspondientes a esta función

El personal que se desempeña en una organización, cualquiera sea el sector de la economía o tipo de industria, edificio, etc, debe tener ciertas habilidades que le son básicas y que tienen que ver con su predisposición a realizar tareas técnicas.

A partir del desempeño diario del personal se debe evaluar en qué medida el mismo es apto para desarrollar las tareas necesarias en el área de mantenimiento en aras de cumplimentar las metas empresariales.

Todos los mecanismos de control de mano de obra, deben ser orientados en el sentido de obtener mayor aprovechamiento de los recursos humanos disponibles como un todo, como también propiciar, al personal, mayor seguridad y satisfacción en el desempeño de sus atribuciones.

En este factor se propone considerar los indicadores siguientes:

- Trabajo en mantenimiento programado
- Trabajo en mantenimiento correctivo
- Otras actividades del personal de mantenimiento
- Capacitación del personal de mantenimiento
- Nivel escolar de los operarios de mantenimiento
- Horas no calculadas del personal de mantenimiento
- Tasa de Frecuencia y gravedad de Accidentes
- Nivel de fluctuación de la mano de obra de mantenimiento

Existencia de un proceso formal de planificación y programación de los trabajos de mantenimiento

En este factor se debe especificar en qué medida existe en la entidad analizada un sistema formal de planificación de las actividades de mantenimiento. A continuación se especifican los elementos claves que debe poseer todo sistema de este tipo para la función de mantenimiento [Ugarte Medina, 2000].

1. Planificación. Implica la razonada y coherente definición de:

- **Políticas:** Planteamientos claros que definan el campo de acción, los principios que enmarcarán el desempeño del mantenimiento.
- **Objetivos:** Expresión congruente y realista del resultado que se espera alcanzar en un plazo determinado.
- **Planes:** Plasmar por escrito, el resultado de la labor de planificación para su posterior seguimiento, evaluación y retroalimentación.
- **Programas:** Proyección de actividades con criterio de oportunidad y secuencia cronológica, que incorpora productos deseados y responsables de su logro.
- **Métodos:** Se trata de seleccionar, dentro de una gama de posibilidades y ajustándose a los recursos disponibles, la forma óptima de llevar a cabo las actividades programadas (se considera la Tercerización).
- **Procedimientos:** Para lograr uniformidad y constancia en el nivel de ejecución de los trabajos de mantenimiento, es preciso detallar los pasos a seguir y generar un estándar.
- **Presupuestos:** Involucra un detalle estructurado de la previsión de recursos necesarios para alcanzar los objetivos propuestos.

2. Organización: Requiere un conocimiento específico y a la vez, una visión global de la unidad de mantenimiento para integrar:

- **Puestos:** Entidades que agrupan objetivos, funciones y responsabilidades consistentes.
- **Funciones:** Labores a desarrollar que guardan relación con el perfil del puesto.
- **Autoridad:** Propiedad para tomar decisiones y generar órdenes que permitan el cumplimiento de los objetivos del puesto.
- **Responsabilidad:** Es la obligación que se contrae ante las autoridades superiores por el logro de los objetivos propuestos en función de los recursos asignados.
- **Recursos:** Es la distribución del recurso humano, equipo, maquinaria, herramienta y demás materiales necesarios para la labor de mantenimiento.

3. Ejecución: Su eficacia es determinada por la previsión de necesidades, la sistematización, acciones de apoyo y facilidades para la:

- **Comunicación:** Es necesario definir las necesidades y en función de ello, el sistema de comunicación interna y externa a la unidad de mantenimiento.

Nivel de adopción de sistemas de gestión del mantenimiento informatizados

Los sistemas automatizados de administración del mantenimiento son de gran utilidad ya que brindan información actualizada, oportuna y de uso corporativo sobre los activos registrados en él.

La informatización de un Sistema Integral de Gestión de Mantenimiento debe contemplar:

- ❖ Informatización de la información técnica de Mantenimiento.
- ❖ Informatización del Sistema de Mantenimiento Correctivo.
- ❖ Informatización del Sistema de Mantenimiento Preventivo/Predictivo.
- ❖ Informatización del Sistema de Paradas programadas.
- ❖ Informatización del Sistema de Seguimiento y Control de la Gestión del Mantenimiento.
 1. Seguimiento y control sistemático (Mensual)
 2. Seguimiento y controles a petición
- ❖ Interfases con otras aplicaciones informáticas.

Naturalmente, previo a esta automatización es necesario un adecuado estudio de la información que se recogerá en estos documentos y el establecimiento de las normas, procedimientos y circuitos de funcionamiento de la Línea Ejecutiva de Mantenimiento.

Seguridad del personal y del medio ambiente

Este elemento ha tomado auge en los últimos años en el nivel empresarial y especialmente en el área de mantenimiento dada la importancia de garantizar condiciones adecuadas de trabajo para los operarios (su seguridad) y la protección del medio ambiente.

En lo relativo a la seguridad del personal se debe valorar el nivel de incidencia de los fallos o modos de fallo sobre la misma en el lugar de trabajo (si alguien puede resultar lesionado o muerto, bien como resultado directo del modo de fallo en sí, bien como resultado de otros daños que pudieran ser ocasionados por el fallo). Además, se hace importante determinar en qué medida la gestión del mantenimiento tiene en cuenta los requisitos exigidos en las normativas ambientales.

3.2 Determinación del peso según el grado de importancia de los factores que evalúan el Nivel de Gestión del Mantenimiento (NGM)

La determinación del peso de cada factor se realizará mediante métodos matemáticos fundamentados. Primeramente se deben realizar, mediante el empleo de un grupo de expertos y la aplicación del método AHP (Analytic Hierarchy Process) o método Analítico Jerárquico de Thomas Saaty [1995], comparaciones de criterios tomados por parejas por cada uno de los expertos.

Selección de la matriz de prioridades

Suponiendo que se consideran n criterios en una jerarquía dada, el procedimiento establecido por Saaty, para la determinación de los pesos establece una matriz cuadrada (A) que refleja el juicio de determinado experto sobre la importancia relativa de los diferentes criterios. La comparación se realiza por parejas, de modo que el criterio del renglón i ($i = 1, 2, \dots, n$) se clasifica con relación a cada uno de los criterios representados por las n columnas. Sea a_{ij} el elemento (i, j) de " A ", el A.H.P propone el uso de una escala directa del 1 al 9 en la que $a_{ij} = 1$ significa que el criterio i y el j tienen la misma importancia, $a_{ij} = 3$ implica que i es ligeramente más importante que j , si el elemento es 5 la importancia de i respecto a j es un poco mayor, un 7 indica una demostrada importancia y un 9 implicaría que la importancia de i es extrema con respecto a j . Por consistencia, si $a_{ij} = k$, $a_{ji} = 1 / k$. También todos los elementos a_{ii} deben ser iguales a 1.

Al aplicar este accionar por parte de los expertos seleccionados para evaluar los ocho factores decididos se obtiene la matriz de prioridades (Matriz A) que se muestra a continuación.

1	1	2	3	2	2	3	2	Matriz A
1	1	2	3	2	3	3	2	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	2	1	1	2	1	
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	2	1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	2	2	1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	1	1	$\frac{1}{2}$	1	2	2	
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	$\frac{1}{2}$	1	1	

Normalización de la matriz A y cálculo de los pesos de cada atributo

Luego de valorar los criterios en la matriz “A”, utilizando la escala anterior, se realiza la normalización de la matriz. Luego se obtendrán los pesos como el promedio del renglón de la resultante matriz normalizada (N).

0,214286	0,222222	0,222222	0,24	0,222222	0,181818	0,1875	0,181818	Matriz N
0,214286	0,222222	0,222222	0,24	0,222222	0,272727	0,1875	0,181818	
0,107143	0,111111	0,111111	0,16	0,111111	0,090909	0,125	0,090909	
0,071429	0,074074	0,055556	0,08	0,111111	0,090909	0,125	0,090909	
0,107143	0,111111	0,111111	0,08	0,111111	0,181818	0,125	0,090909	
0,107143	0,074074	0,111111	0,08	0,055556	0,090909	0,125	0,181818	
0,071429	0,074074	0,055556	0,04	0,055556	0,045455	0,0625	0,090909	
0,107143	0,111111	0,111111	0,08	0,111111	0,045455	0,0625	0,090909	

Determinación del nivel o razón de inconsistencia (RC) en el juicio emitido por cada experto

Cuando las columnas de la matriz “N” son idénticas puede afirmarse que la matriz original de comparaciones de a pares (A) es perfectamente consistente. La consistencia significa que la decisión muestra un juicio coherente al especificar la comparación por pares de atributos. De forma matemática se expresa como sigue: $a_{ik} = a_{ij} * a_{jk}$, para todas i, j, k.

Debido a que estas matrices de comparaciones entre atributos son realizadas de acuerdo al juicio humano, se espera algún grado de inconsistencia que se debe tolerar a condición de que no sea irracional. Para determinar si un nivel de inconsistencia es o no razonable, se necesita desarrollar una medida cuantificable para la matriz de comparación “A”, para lo cual se calcula la media de los elementos de cada fila de la matriz normalizada (N), constituyendo esto el vector de prioridades (V) (pesos de las alternativas).

$$\begin{bmatrix} 0,209011 \\ 0,220375 \\ 0,113412 \\ 0,087373 \\ 0,114775 \\ 0,103201 \\ 0,061935 \\ 0,089917 \end{bmatrix} \quad \text{Matriz } V$$

Una vez que se cuenta con la matriz de prioridades, se procede a calcular el vector de las sumas ponderadas (K), el cual se obtiene como resultado de la suma de las multiplicaciones de cada prioridad con una columna de la matriz A, lo cual se realizará siempre entre una columna de dicha matriz y el elemento que se encuentre en la fila que esté numerada con el valor al cual pertenezca dicha columna.

$$\begin{bmatrix} 1,719922 \\ 1,823124 \\ 0,934615 \\ 0,718972 \\ 0,950443 \\ 0,843042 \\ 0,504362 \\ 0,733706 \end{bmatrix} \quad \text{Vector } K$$

Si ahora se dividen los elementos del vector de sumas ponderadas (K) y el valor de prioridad correspondiente, se obtienen los valores de λ y luego a la media de estos valores se le llamará λ max., con el cual se podrá calcular el Índice de Consistencia:

$$\lambda \text{ max} = 8,215542$$

$$IC = \frac{\lambda \text{ máx} - n}{n - 1} = 0,03079 \quad (13)$$

Ahora se calcula el grado de consistencia, el que debe ser \leq a 0,10 para que el juicio de los expertos se considere consistente, de lo contrario no tendrá validez la determinación que estos tomen sobre el peso de los factores.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (14)$$

Donde:

$$IC: \text{ índice de inconsistencia de la matriz A, } IC = \frac{n_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (15)$$

$$IA: \text{ índice de inconsistencia aleatoria, } IA = \frac{1,98(n - 2)}{n} \quad (16)$$

$$RC = \frac{0,030792}{1,485} = 0,020735 \leq 0,10$$

∴ El juicio de los expertos es consistente.

3.3 Definición de los intervalos para los factores medidores del NGM

Para el establecimiento de los niveles de comportamiento de los indicadores se realizó un trabajo con los expertos, obteniéndose una escala de cinco divisiones:

- Muy bien
- Bien
- Regular
- Mal
- Muy mal

Se le asignó una puntuación de 10; 8; 6; 2; 1, respectivamente, cifras que posteriormente serán utilizadas para el cálculo del indicador final (Nivel de Gestión del Mantenimiento).

Para poder establecerse en los primeros niveles, la empresa debe presentar un cumplimiento total de los parámetros que rigen al factor en cuestión, obteniendo calificación de Muy bien sólo cuando esto se alcanza a plenitud; la categoría de Regular será aplicada a los factores que presenten algún tipo de dificultad, mientras que las de Mal y Muy mal, a los que no cumplan con las exigencias del factor en comparación con las empresas líderes, o con respecto a los medidores o índices que lo definen.

3.4 Determinación del Nivel de Gestión del Mantenimiento

Para lograr realizar una evaluación final de la situación de la empresa se necesita un indicador que relacione los ocho factores que hasta el momento se han utilizado, para ello se propone calcular el Nivel de Gestión del Mantenimiento, donde se relaciona la puntuación dada por los expertos de la empresa a cada uno de los medidores (según el comportamiento real de la entidad estudiada) con los pesos obtenidos anteriormente (matriz V) y el valor máximo de las variables medidoras (10 puntos) con los respectivos pesos según el grado de importancia; el cual responde a la siguiente expresión matemática:

$$INGM = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i * Z_i)}{10 * \left(\sum_{i=1}^n P_i \right)} \right] * 100 \quad (17)$$

Donde:

INGM: Nivel de Gestión del Mantenimiento (en %)

Pi: Peso relativo de las características del patrón de excelencia

Zi: Calificación dada a la variable o característica i del patrón de excelencia.

n: Cantidad de variables (en este caso ocho factores)

CONCLUSIONES

1. La actividad de control del mantenimiento en la empresa, exige rigor científico-técnico, pues de lo contrario queda en una buena intención que puede desacreditarla y provocar problemas en el desarrollo posterior de su actividad productiva.
2. La existencia de una amplia gama de indicadores de evaluación de la actividad de mantenimiento dificulta en cierta medida el proceso de toma de decisiones al no estar definidos los índices considerados como claves para dicha función.
3. El indicador propuesto constituye una adecuada herramienta para el mejoramiento de la función de mantenimiento en la empresa, por lo que se recomienda el análisis del comportamiento de cada

factor evaluado en el INGM con vistas a identificar las causas que ocasionan su desempeño deficiente y trabajar por superarlas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amendola, L. [2002]. Modelos Mixtos de Confiabilidad. Edit. Datastream. ESPAÑA.
2. De Gusmao, C.A. [2001]. Indices de Desempenho da Manutencao: Un enfoque Práctico. Revista: Club de Mantenimiento. No 4. Año 1. Brazil.
3. Dunn, Richard L. [2004]. Basic guide to maintenance benchmarking. Publicado en <http://www.manufacturing.net>
4. Galli Mondragón, L. [2003]. La trampa de los indicadores. Revista Énfasis Logística. Edición No37, Julio. Publicado en http://www.enfasis.com/rev_log_mx/2002_37nota_html
5. Galvao Zen, M.A. [1998]. El Ingeniero de Mantenimiento. Revista Mantenimiento. Chile. No 29. <http://www.mantencion.com/articulos/rev29art1.php3>
6. Hernández Cruz, E y Navarrete Pérez, E. [2001]. Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento. Revista Club de mantenimiento No 6. Año 1. Brazil.
7. MINBAS. [1996]. Indicadores de gestión de mantenimiento. Habana.
8. Saaty [1995]. Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. RWS Publications, 3^d edition. Pittsburgh.
9. Tabares, L. A. [1998]. Índices de mantenimiento. Revista Manutencao y qualidade. Brasil, No: 19, 20 y 23.
10. Tavares, L. A. [2000]. Tercerización de Mantenimiento. Revista Electrónica de Mantenimiento, Diciembre N°3, Pág. 2.
11. Ugarte Medina, H. [2000]. Mantenimiento industrial a la orden del día. Instituto Nacional de Aprendizaje, Núcleo Metalmecánica. Septiembre. Publicado en [http://www.ina.ac.cr/revista/matenimientoindustrialpag241908.html](http://www.ina.ac.cr/revista/mantenimientoindustrialpag241908.html)

Datos del autor:

Aramis Alfonso Llanes. e-mail: aramisll@fce.uclv.edu.cu

Máster en Ingeniería Industrial, mención en Gestión de la Producción (UCLV, Cuba, 1998), Ingeniero Industrial, especialización en Organización de Empresas (ISPJAE, Cuba, 1995). Profesor Auxiliar del colectivo de Gestión de la Producción y Logística del departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV). Diez años de experiencia en el ejercicio de la profesión como docente, tanto en programas de pregrado de Ing. Industrial, directamente vinculado a la Gestión de Operaciones aplicada a los sistemas de producción, servicios, y en postgrado en cursos, Diplomados y programas de Maestría, así como en la ejecución de proyectos de investigación asociados a la toma de decisiones con enfoque logístico, administración en la esfera del mantenimiento industrial, la administración de la producción de procesos discretos y continuos. Expositor de más de 20 ponencias en eventos científicos de carácter nacional e internacional celebrados en Cuba y en el extranjero. Trabaja en el campo de la Gestión de la Producción, Logística empresarial y, Gestión Integrada del Mantenimiento.