

Palabras Claves:

Metodología

Valor Agregado

Mantenimiento predictivo

Diagnóstico por vibraciones.

Key Word

Methodology

Added Value

Predictive maintenance

Diagnosis for vibrations

Methodology for the estimate of the Added Value of the predictive maintenance in the Cuban Industry.

MSc. Ing. Orlando Inastrilla Armayor

INTRODUCTION:

In today's world, the economic success of all maintenance activity is based in four fundamental values: Time, Effort, Money and sympathetic.

The diagnosis for vibrations constitutes not only one of the most expensive techniques, but also one of the most used because of the degree of speed and accuracy when making right decisions, which is merely a predictive technique, its use as support to the traditional Preventive Maintenance Planned is more than proven and guaranteed by the economic results that are derived from its application.

The correct application of the diagnosis and monitoring of the machinery, the use of a specialized instrumentation and the analysis of the information gathered by highly qualified specialists in this field, make possible, as a general rule, that the reliability of the machines, even of the noblest, increase at least in 40%; increasing, therefore, the half time among faults and decreasing the intensity of these ones.

In medium and big Organizations, an investment like this, fully justified by the requirements of competitiveness of the Organization and quality standard documents demanded by the modern world, it would be difficult to approve it if the Organization does not have the record of the equipment, due to the great magnitude of the work and the time that would take to demonstrate the enormous economic benefits that the application of these techniques would bring to the Organization in question.

In most of Cuban Organizations, mainly in those where the maintenance activity is not considered as a management activity, the differentiation of the machines is not taken into account or at least, if it exists, it is not objective.

The maintenance type to be used in each machine, is also conditioned by the resources that are provided by the Organization and the budget assigned to the maintenance, which should be enough and consequent with the action capacity, equipment and the training of the specialists involved.

The objective of this paper is to propose a methodology that make possible to estimate the added value when calculating certain coefficients, by concept of predictive maintenance in a group of previously differentiated machines that are of interest for its great impact in the productive process, this way the Organization can estimate its benefits in short term and to decide or not to invest in these techniques, either hiring the service or acquiring the equipment and qualifying its personnel.

Metodología para la estimación del Valor Agregado del mantenimiento predictivo en la Industria Cubana.

MSc. Ing. Orlando Inastrilla Armayor

INTRODUCCIÓN:

En el mundo de hoy, el éxito económico de toda actividad de mantenimiento radica en cuatro valores fundamentales: Tiempo, Esfuerzo, Dinero y Afecto.

Una de las técnicas más caras, pero también más empleadas por el grado de rapidez y exactitud que brinda a la hora de tomar acertadas decisiones lo constituye el diagnóstico por vibraciones, la cual es una técnica meramente Predictiva, su uso como apoyo al tradicional Mantenimiento Preventivo Planificado está más que probado y avalado por los resultados económicos que de su aplicación se derivan. [1] [3]

La correcta aplicación del diagnóstico y seguimiento de las maquinarias, el uso de una instrumentación especializada y el análisis de la información recogida por especialistas altamente calificados en este ramo, hacen posible como regla general, que la fiabilidad de las máquinas, incluso la de las más nobles, aumente al menos en un 40 %, aumentando por ende, el tiempo medio entre fallos y disminuyendo la intensidad de los mismos. [4]

En las medianas y grandes Organizaciones, una inversión como esta, plenamente justificada por los requerimientos de competitividad de la Organización y documentos normativos de calidad exigidos por el mundo moderno, sería difícil de aprobar si no se cuenta por parte de la Organización del historial de los equipos, debido a la gran magnitud del trabajo y al tiempo que llevaría demostrar los enormes beneficios económicos que la aplicación de estas técnicas traerían para la Organización en cuestión

En la mayoría de las Organizaciones cubanas, sobre todo en aquellas donde la actividad de mantenimiento no es considerada como una actividad de gestión, la diferenciación de las máquinas no se tiene en cuenta o por lo menos, si existe, no es objetiva.

El tipo de mantenimiento a emplear en cada máquina, también está condicionado por los recursos que disponga la Organización y el presupuesto asignado para el mantenimiento, el cual debe ser suficiente y consecuente con la capacidad de acción, instrumentación y preparación de los especialistas que lo atienden.

El presente trabajo tiene el objetivo de proponer una metodología donde al calcular ciertos coeficientes, sea posible estimar el valor agregado por concepto de mantenimiento predictivo en un grupo de máquinas previamente diferenciadas y que sean de interés por su gran impacto en el proceso productivo, de esta forma la Organización puede estimar sus beneficios a corto plazo y decidir o no invertir en estas técnicas, ya sea contratando el servicio o adquiriendo la instrumentación y calificando su personal. [2]

DESARROLLO:

La Metodología propuesta incluye los siguientes aspectos:

- **Definición del problema**
- **Definición de “máquina patrón”**
- **Selección de expertos**
- **Definición de los coeficientes (criterios de agrupación)**
- **Ponderación del resultado encuestal**
- **Procesamiento matemático**

Cada uno de los aspectos antes citados serán tratados en detalles sin violar el orden lógico de aparición; de lo contrario, en el mejor de los casos, el proceso se haría mucho más laborioso.

- **Definición del problema**

El usuario de esta Metodología debe tener muy claro, desde el principio, ¿qué es lo que se propone y el grado de exactitud que quiere lograr? A partir de esto, planificará el alcance de los restantes aspectos.

- **Definición de “máquina patrón”**

La **máquina patrón** deberá ser un equipo, donde de alguna forma se cuente con información suficiente y confiable sobre el diagnóstico por vibraciones, entiéndase un equipo donde ya se haya realizado diagnóstico por vibraciones (no importa la instrumentación utilizada, solo los resultados económicos, evidentemente positivos, que de su empleo se derivaron). En caso de no existir ningún equipo que reúna estas características, será necesario seleccionar una máquina cuyo estado técnico y complejidad técnica facilite un rápido diagnóstico de la misma, (este servicio pudiera ser contratado, si no se cuenta con la instrumentación requerida y lo que precisamente se quiere, es validar una inversión).

- **Selección de los expertos**

La **selección de los expertos** debe tener en cuenta un objetivo común (profundo conocimiento del tema) pero deben buscarse diferentes puntos de vista, previendo así la dispersión de los resultados. Se recomienda un número no menor que 30 expertos, seleccionándose siempre la mayor cantidad de profesionales vinculados a la actividad, o sea, ingenieros, jefes de áreas, jefes de brigadas, docentes, investigadores y operarios de mucha experiencia. Es importante destacar que en este aspecto pudiera tenerse en cuenta cualquiera de los “**métodos de expertos**” propuestos en diferentes bibliografías, los cuales incluso proponen un procesamiento estadístico para el análisis de la información obtenida, tal es el caso de la conocida “técnica Delphi”.

- **Definición de los coeficientes (criterios de agrupación)**

Las condiciones del ambiente operativo en el que transcurre la vida útil de las maquinarias, así como su inevitable influencia en el estado técnico de las mismas, son tenidas en cuenta por una serie de coeficientes denominados como “C_n”, donde “n” será el número de coeficientes, y que abarcan los más disímiles aspectos que afecten a las máquinas, tanto generales como particulares de una u otra área, planta, taller, zona, división, etc. dentro de una misma Organización. Por eso dichos coeficientes pueden abarcar toda una inmensa gama que iría desde “C₁” hasta “C_n” en función de los requerimientos del usuario y el grado de exquisitez que quiera lograr.

De la misma manera, también es posible que un mismo coeficiente “C_n” agrupe un conjunto de aspectos o condiciones de explotación, por supuesto, estrechamente relacionadas entre sí.

También es factible atribuirle a estos coeficientes, importantes indicadores, económicos o no, que por su contenido, ofrezcan una información valiosa. (Ver coeficiente C₁ en el ejemplo). Estos coeficientes, evidentemente, no serían objeto de encuesta y no participarían en la ponderación. Su valor absoluto viene dado por los registros de que se dispongan en la Organización y son inalterables.

La incidencia de los aspectos o condiciones seleccionados, se tratará siempre de forma cuantitativa, dando valores desde uno (1) hasta tres (3), según la influencia de los mismos en el estado técnico de las maquinarias, donde:

Baja influencia..... 1
Media influencia..... 2
Alta influencia..... 3

- **Ponderación del resultado encuestal:**

Es la ponderación del resultado que arroja la encuesta cuantitativa realizada a los expertos, la cual estará dirigida a:

1. Seleccionar los aspectos o condiciones que afectan o influyen en el estado técnico de las maquinarias (ambiente operacional).
2. Establecer la posibilidad de agrupar o no, algunos aspectos en un mismo coeficiente, de ser posible, se reduciría el procesamiento matemático.
3. Establecer la incidencia cuantitativa de los diferentes aspectos, en las maquinarias que el usuario estime importante considerar (por ejemplo máquinas categoría “A” y “B”). [4]

La forma y modelo de las encuestas no es importante (no hay recomendación específica) con tal que se recoja la información deseada.

- **Procesamiento matemático:**

Una vez realizada la **ponderación** de los coeficientes se habrá obtenido así el **valor absoluto** de estos coeficientes. Será necesario entonces, obtener los **valores relativos** de los coeficientes, lo cual será posible si tomamos como base los valores absolutos de los coeficientes de la “**máquina patrón**”. De esta forma los valores relativos de los coeficientes de la “**máquina patrón**” serán uno (1) y el resto de los coeficientes (de las máquinas analizadas) serán relativos al patrón)

Cada uno de estos coeficientes por sí solos, no da absolutamente ninguna información. Es necesario calcular un factor que los tenga en cuenta a todos de conjunto, dicho factor se denomina “**Factor de Incidencia** “(K_i), donde “i” sería el número de grupos de equipos.

$$K_i = C_1 C_2 C_3 \dots C_n \quad (\text{Expresión. No. 1})$$

Una vez obtenido el “ K_i ” para cada grupo de máquinas analizado, será necesario obtener el **valor agregado estimado** (V_n) para cada grupo de máquinas.

$$V_{ai}^* = K_i V_{ap} \quad (\text{Expresión. No. 2})$$

Donde “ V_{ap} ” sería el **valor agregado** real obtenido en la “**máquina patrón**”, por concepto del diagnóstico. Este valor agregado real se calcula en función del ahorro por el concepto que más interese (por ejemplo: Disminución de roturas imprevistas) o de todo el ahorro que del diagnóstico se derive.

El **valor agregado estimado total** (V_{aT}^*) sería la sumatoria de todos los V_{ai}^* para los distintos grupos de equipos analizados y daría una idea de cuanto es posible ahorrar en la Organización por concepto de la introducción del diagnóstico por vibraciones si solo se aplicara en un grupo de equipos específicos (los que interese), daría además un estimado de en qué tiempo es posible amortizar la inversión (si se conoce el tiempo que demoró en realizarse el diagnóstico sobre la “máquina patrón”) y si en definitiva, su aplicación es factible.

$$V_{aT}^* = \sum_{i=1}^n V_{ai}^* \quad (\text{Expresión. No. 3})$$

EJEMPLO

Lo antes expuesto puede ser mejor comprendido por el lector a partir del ejemplo que se presenta de una de nuestras mas complejas industrias, un Complejo Agro Industrial Azucarero (CAI).

El objetivo es evaluar la incidencia económica del Mantenimiento Predictivo por diagnóstico vibroacústico o la utilización de técnicas de diagnóstico vibroacústico como complemento del Mantenimiento Preventivo Planificado, en el ahorro por concepto de valor agregado atendiendo a la disminución del tiempo perdido en horas como consecuencia de la parada del CAI debido a interrupciones operativas y fundamentalmente roturas industriales en un grupo de equipos que fueron seleccionados atendiendo a la importancia de los mismos en el proceso productivo y a su categoría.

En este caso la “máquina patrón” será el grupo de Bombas de Vacío marca NASH. [5]

Una vez seleccionados los expertos en materia de mantenimiento industrial en Centrales Azucareros, se realizaron las respectivas encuestas con el objetivo de definir los aspectos que más significativamente afectan el buen funcionamiento de las máquinas.

Como se conoce, el CAI está estructurado por áreas y no todos los equipos están sometidos a las mismas condiciones por lo que fue necesario establecer diferentes coeficientes que tuvieran en cuenta la forma en que dichas condiciones inciden en dichas máquinas (equipos), logrando así que el análisis fuera en igualdad de condiciones.

Los resultados obtenidos en las encuestas arrojaron que los aspectos que más significativamente influyen son los siguientes:

- 1.- Sobrecargas innecesarias
- 2- Mala operación del equipo
- 3- Negligencia en el mantenimiento
- 4- Alta corrosión
- 5- Malas condiciones de trabajo para el equipo (humedad, altas temperaturas, etc.)
- 6- Conservación deficiente
- 7- Lubricación deficiente o incorrecta.

Los anteriores aspectos según consenso de los especialistas consultados, se pueden agrupar como sigue, obteniendo los siguientes coeficientes:

C_2 {1, 2 y 3

C_3 {4, 5 y 6

C_4 {7

La incidencia de estos coeficientes se evalúa asignando valores desde 1 hasta 3 según su grado de influencia en las diferentes maquinarias:

- Baja influencia 1
- Media influencia 2
- Alta influencia 3

Una vez establecidos los coeficientes y habiéndole dado valores cuantitativos a la influencia de los mismos, se repitió el proceso de consulta (encuesta) a los expertos.

La **ponderación** de los resultados que arrojan los **valores absolutos de los coeficientes** se indica en la tabla No.1.

El coeficiente “C₁” fue establecido teniendo en cuenta el tiempo perdido en horas por cada grupo de equipos en una zafra, lo cual constituye además un indicador económico del CAI. El mismo también aparece reflejado en la tabla No.1.

Tabla No. 1 Valores absolutos de los coeficientes.

No.	Cat.	Grupo de Equipos	Tiempo perdido [h] C ₁	C ₄	C ₃	C ₂
1	A	Bombas de vacío NASH	9,23	1,50	1,66	2,83
2	A	Accionamiento estera elevadora	32,42	2,33	2,50	1,83
3	A	Accionamiento juego de cuchillas	3,03	1,33	2,66	1,83
4	A	Accionamiento conductor intermedio	1,58	2,00	2,50	1,33
5	A	Accionamiento rastrillo de bagazo	8,84	2,00	1,83	2,66
6	A	Turbinas	312,43	1,83	1,66	2,66
7	A	Ventiladores de las calderas	14,32	2,16	2,00	2,50
8	A	Bombas de alimentar calderas	116,57	1,83	1,83	3,00
9	A	Turbo-generadores	3,97	2,00	1,16	2,16
10	B	Bomba de tanque de guarapo clarificado	59,32	1,33	1,33	2,66
11	B	Accionamiento del rompebultos	1,36	1,50	2,33	1,83
12	B	Bomba de maceración	5,58	1,50	1,66	2,50
13	B	Bomba de agua de imbibición	1,35	1,33	1,83	2,66
14	B	Bomba de jugo a la alcalizadora	39,13	1,33	1,83	3,00
15	B	Bomba de jugo al intercambiador y colador	1,49	1,33	1,83	3,00

En la tabla No. 2 aparecen los valores relativos de los coeficientes respecto al patrón (bombas de vacío) haciendo 1 todos los coeficientes de las bombas.

Tabla No.2 Valores relativos de los coeficientes respecto al patrón.

No.	Cat.	Grupo de Equipos	Tiempo perdido [h]			
			C ₁	C ₄	C ₃	C ₂
1	A	Bombas de vacío NASH	1,00	1,00	1,00	1,00
2	A	Accionamiento estera elevadora	3,50	1,55	1,50	0,64
3	A	Accionamiento juego de cuchillas	0,33	0,88	1,60	0,64
4	A	Accionamiento conductor intermedio	0,17	1,33	1,50	0,46
5	A	Accionamiento rastrillo de bagazo	0,96	1,33	1,10	0,93
6	A	Turbinas	33,85	1,22	1,00	0,93
7	A	Ventiladores de las calderas	1,55	1,44	1,20	0,88
8	A	Bombas de alimentar calderas	12,63	1,22	1,10	1,06
9	A	Turbo-generadores	0,43	1,33	1,66	0,76
10	B	Bomba de tanque de guarapo clarificado	6,42	0,88	0,80	0,93
11	B	Accionamiento del rompebultos	0,15	1,00	1,40	0,64
12	B	Bomba de maceración	0,60	1,00	1,00	0,88
13	B	Bomba de agua de imbibición	0,15	0,88	1,10	0,93
14	B	Bomba de jugo a la alcalizadora	4,23	0,88	1,10	1,06
15	B	Bomba de jugo al intercambiador y colador	0,16	0,88	1,10	1,06

Cálculo del valor agregado real en las bombas de vacío (máquina patrón)

Se procedió a definir una serie de variables que permitiera calcular de forma abreviada el valor agregado real por concepto de disminución de roturas imprevistas alcanzado en las bombas de vacío.

- Definición de variables:

Tp1: Tiempo perdido en la zafra 1 (h)

Tp2: Tiempo perdido en la zafra 2 (h); donde ambas zafras son consecutivas

A: Ahorro en horas perdidas en la zafra 2 respecto a la zafra 1 (h)

B: Valor mercantil de una hora de producción (\$ / h)

V_{a p}: Valor agregado por la máquina patrón. (Valor en \$ que se ahorra por concepto de disminución de roturas imprevistas en las bombas de vacío)

V_{a i}* : Valor agregado estimado (valor en \$ que se puede ahorrar por concepto de disminución de roturas imprevistas en cada grupo de equipos “i”)

I: grupo de equipos

Sustituyendo:

B = 350.00 USD

Tp1 = 21.30 h

Tp2 = 9.23 h

$$A = T_{p1} - T_{p2}$$

$$A = 21.30 - 9.23 = 12.07 \text{ h}$$

$$V_{ap} = A \times B$$

$$V_{ap} = 4224.5 \text{ \$ (USD)}$$

El factor de incidencia K_1 y el valor agregado estimado para cada grupo de equipos V_{ai}^* pueden ser calculados utilizando las expresiones 1 y 2 respectivamente. Ver tabla No. 3.

Tabla No.3 Factor de incidencia y valor agregado estimado

No.	Cat.	Grupo de Equipos	Factor de Incidencia (K_1)	V_{ai}^* [\$(USD)]
1	A	Bombas de vacío NASH	1,00	4224,5
2	A	Accionamiento estera elevadora	5,20	21967,4
3	A	Accionamiento juego de cuchillas	0,29	1225,10
4	A	Accionamiento conductor intermedio	0,15	633,62
5	A	Accionamiento rastrillo de bagazo	1,30	5491,85
6	A	Turbinas	38,40	162220,8
7	A	Ventiladores de las calderas	2,35	9927,55
8	A	Bombas de alimentar calderas	17,96	75812,02
9	A	Turbo-generadores	0,72	3041,64
10	B	Bomba de tanque de guarapo clarificado	4,20	177412,9
11	B	Accionamiento del rompebultos	0,13	549,18
12	B	Bomba de maceración	0,52	2196,74
13	B	Bomba de agua de imbibición	0,13	549,18
14	B	Bomba de jugo a la alcalizadora	4,34	18334,33
15	B	Bomba de jugo al intercambiador y colador	0,16	675,92

Por último, el valor agregado estimado total, que tiene en cuenta lo que se ahorra en mayor o menor grado si los equipos relacionados en las tablas anteriores trabajaran bajo

diagnóstico por vibraciones, solamente de una zafra a otra, puede calcularse utilizando la expresión No.3 .

$$V_{aT}^* = 320428.28 \text{ \$ (USD)}$$

En la medida en que se logre implementar el diagnóstico mecánico por vibraciones de forma eficiente en el mayor número de equipos posibles durante un mayor número consecutivo de zafras, las roturas imprevistas tenderán a disminuir con mayor velocidad en la misma medida que tenderá a aumentar el valor agregado así como el ahorro en recursos, piezas de repuesto y horas-hombres de mantenimiento.

Esta Metodología ha sido empleada por los autores satisfactoriamente en la Industria Nacional.

REFERENCIAS:

- 1 Inastrilla,.O. Implementación de técnicas vibroacústicas en el diagnóstico mecánico de la industria azucarera cubana, Proceeding 1. Taller internacional de vibraciones y otras técnicas de diagnóstico de equipos dinámicos, ESIB, 1995.
- 2 Inastrilla,.O. Implementación y validación del diagnóstico por vibraciones en la Industria Azucarera Cubana. Tesis de maestría, Facultad de ingeniería Mecánica, ISPJAE, 1996
- 3 Moya, J. Importancia del diagnóstico para el trabajo de fiabilidad en la industria azucarera, Facultad de Construcción de Maquinarias, ISPJAE, 1993
- 4 Navarrete, E. Mantenimiento Industrial, t 1. Facultad de Construcción de Maquinarias, ISPJAE.
- 5 Bombas de vacío y compresores de anillos líquidos. Catálogo SA. Fabricaciones Especiales Manufacturadas SAFEN-España 1994.

Datos del autor.

MSc. Ing. Orlando Inastrilla Armayor,
Ingeniero Mecánico, ISPJAE, 1994
Máster en Mantenimiento Industrial, ISPJAE, 1997
Rosario 4410 esq. Ave. Carolina, SMP, La Habana. Cuba.