

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

O. Inastrilla Armayor.

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología
ONN, CITMA.

(Recibido el 15 de Marzo de 2004; aceptado el 22 de Junio de 2004).

Resumen.

En el trabajo se expone una metodología general para la determinación de ciertos coeficientes que permiten estimar el valor agregado por concepto de la aplicación del mantenimiento predictivo en un grupo de máquinas agrupadas según su función. A partir de aquí el usuario será capaz de estimar los beneficios a corto plazo por la aplicación de este tipo de mantenimiento.

Palabras claves: Metodología valor agregado, mantenimiento predictivo, diagnóstico por vibraciones.

1. 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 con el 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]

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 de 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 “ C_1 ” 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 C_1 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).

1. Establecer la posibilidad de agrupar o no, algunos aspectos en un mismo coeficiente, de ser posible, se reduciría el procesamiento matemático.

2. 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” será el número de grupos de equipos.

$$K_i = C_1 C_2 C_3 \dots C_n \quad (1)$$

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.

$$V_{ai}^* = K_i V_{ap} \quad (2)$$

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}^*) será la sumatoria de todos los V_{ai}^* para los distintos grupos de equipos analizados y dará 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), dará 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.

$$V_{aT}^* = \sum_{i=1}^n V_{ai}^* \quad (3)$$

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 vibro acústico o la utilización de técnicas de diagnóstico

vibro acústico 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:

C2 {1, 2 y 3

C3 {4, 5 y 6

C4 {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.

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.

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.

Tabla No. 1 Valores absolutos de los coeficientes.

No.	Categ.	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

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

No.	Categ.	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

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

V_{ai}^* : 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:

$$B = 350.00 \text{ USD}, T_{p1} = 21.30 \text{ h}, T_{p2} = 9.23 \text{ h}$$

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

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

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

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

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).

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 el autor satisfactoriamente en la Industria Nacional.

3. Bibliografía.

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

Tabla No.3 Factor de incidencia y valor agregado estimado.

No.	Categ.	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

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.

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

Abstract.

In the work a general methodology is exposed for the determination of certain coefficients that allow to estimate the value added by concept of the application of the predictive maintenance in a group of machines contained according to its function. Starting from here the user will be able to estimate the short term benefits for the application of this type of maintenance.

Key words: Dumbwaiter, structures, stress analysis, finite elements.