

## VALORACIÓN DE LA FIABILIDAD OPERACIONAL EN ALGUNAS ÁREAS DE LA EMPRESA MIELERA SIBONEY

Maria de Lourdes de la Cruz Aragonese\*, Abdel Rivera Martín\*, Janet Hernández Carbó\*, Martha Nápoles García\*, C Erenio González Suárez\*\*, Oscar Gómez Isla\*  
Universidad de Camaguey, \*\*UCLV, Cuba

*En este trabajo se hace un estudio del comportamiento de dos áreas del sistema termoenergético en la empresa mielera Siboney, ubicada en el municipio Sibanicu, provincia Camaguey, Cuba, realizándose una comparación de la fiabilidad operacional de ambas, y éstas demuestran igual comportamiento de conflicto a través del análisis estadístico realizado y los resultados de los indicadores de fiabilidad, observándose la imposibilidad de llevar a cabo el mantenimiento preventivo, cuestión esta que atenta contra la disponibilidad operacional de la industria. Un estudio por simulación se realiza para comparar las posibilidades de ejecución de una propuesta desarrollada por el IPROYAZ en la provincia de Camaguey, demostrándose las ventajas económicas de la misma.*

**Palabras clave:** empresa mielera, fiabilidad operacional.

*In this paper we make a study of the behavior of two areas of thermal energy system in Siboney molasses manufacturing company located in the municipality Sibanicu, Camaguey Province, Cuba, carried out a comparison of the operational reliability of both, and these show the same behavior in conflict through statistical analysis done and results of reliability indicators, revealing the inability to carry out preventive maintenance, an issue that threatens the operational readiness of the industry. A simulation study is performed to compare the possibilities of implementing a proposal developed by the IPROYAZ in the province of Camaguey, demonstrating the economic benefits thereof.*

**Key words:** molasses manufacturing, operational reliability.

### Introducción

La industria azucarera cubana transita por profundos cambios técnicos, en todo el país, desarrollándose metodologías basadas en la consideración del riesgo, la incertidumbre y la fiabilidad, como elementos importantes para que los rediseños se acerquen más a las condiciones reales del sistema analizado y su entorno, tomándose en consideración numerosos aspectos que incluyan la economía y el medio ambiente, como resultados importantes a tener en cuenta en las decisiones. En estos estudios de reingeniería que se realizan en las fábricas existentes en todo el país, se han utilizado técnicas del análisis de procesos.

En el caso específico de la fiabilidad, su estudio se vincula en prevenir los fallos de forma tal que las pérdidas económicas, ecológicas y humanas se disminuyan. La industria, por tanto prevé desde el diseño, estos problemas de las fallas, incluyendo la fiabilidad de los equipos en los cálculos. Otro tanto ocurre en la operación, la que se garantiza a través

de la planificación correcta del mantenimiento preventivo, de forma tal que la parada del proceso sea planificada, anticipándose al fallo.

En la literatura existen estudios de evaluación de la calidad del mantenimiento preventivo, aspecto este que aparece también incluido en las normas. Por la importancia que tiene éste en los estudios inversionistas de la industria azucarera, se realiza el siguiente trabajo en la empresa mielera Siboney. Se realiza, además, la simulación de diferentes condiciones para comparar la eficiencia energética con los resultados luego de efectuados los cambios que son propuestos al analizar los resultados de los indicadores de fiabilidad.

### Materiales y métodos

#### Descripción del esquema termoenergético

El central Siboney se encuentra situado en el municipio de Sibanicú, provincia de Camaguey,

---

produciendo azúcar crudo con una norma potencial de 160 000 @/d. Hasta la zafra 2005 2006 tenía las siguientes características: El área de extracción está formada por cuchillas y niveladoras para la preparación de la caña, y una desmenuzadora acompañada por cinco molinos accionados por tres máquinas de vapor con una presión de escape de 6 lb/plg<sup>2</sup>. En la generación de vapor interviene una caldera RETAL con una capacidad máxima de generación de vapor de 45 t/h, esta trabaja con bagazo, aunque su diseño le permite trabajar con petróleo en ocasiones, según la estabilidad energética existente.

La planta eléctrica cuenta con un turbogenerador de 1 500 kW/h de potencia, consumiendo vapor de alta presión procedente de la caldera a 12,65 kgf/cm<sup>2</sup> y expulsando un vapor de 10 lb/plg<sup>2</sup>.

El área de evaporación tiene un pre-evaporador con una superficie calórica de 696,77 m<sup>2</sup> (7 500 pie). El mismo es el encargado de suministrar vapor secundario de 6 lb/plg<sup>2</sup> conjuntamente con las máquinas de vapor que intervienen en el movimiento de los molinos. Este vapor es consumido por los tres calentadores de jugo mezclado, el cuádruple efecto y los tachos. En caso de que el vapor no sea suficiente se reduce de la línea de escape dicha presión para satisfacer el consumo de estos equipos. El cuádruple efecto está compuesto por vasos de 5 000 pie<sup>2</sup> de superficie calórica, y los intercambiadores de calos son del tipo Webre, de tres cuerpos cada uno conectados en serie.

Para suplir el déficit de vapor de escape al pre-evaporador existe una válvula reductora, que conecta la línea de alta presión con la de baja, para facilitar el consumo de dicho equipo, además este vapor es sometido también a una posterior reducción en la medida de las necesidades, para obtener el vapor de 6 lb/plg<sup>2</sup> que consumen los equipos que se mencionaron an-

teriormente, teniéndose además una tercera válvula reductora para garantizar el consumo de las máquinas de vapor, pues la presión de trabajo de las mismas no es la de vapor directo.

### **Análisis de las fallas. Su clasificación. Comparación entre áreas de más conflicto**

Para demostrar la efectividad del mantenimiento preventivo en las dos áreas más conflictivas que se detectaron (generadores de vapor y molinos), se utilizó el software Statgraphics Plus, con el cual se realizó la prueba de hipótesis con los tiempos de duración de los fallos entre la zafra del 99-00, donde no se utilizó el tratamiento magnético en la caldera y con las posteriores zafras del 2000 al 2006, donde sí se aplicó. Las áreas donde hay mayor número de fallos es en el área de molinos y en el área de generadores de vapor, pudiendo deberse esto a numerosas causas.

Se realiza entonces una prueba de hipótesis con el software Statgraphics Centurión xv para ver si existen diferencias significativas entre ambas, de forma tal que pueda inferirse sobre la calidad del mantenimiento preventivo y sobre la obsolescencia de los equipos o sobre problemas operacionales, aspecto este que se valora en el epígrafe siguiente.

A continuación se procede a aplicar la metodología propuesta por Mojícar y colaboradores (2001) para evaluar la calidad del mantenimiento preventivo en el área de molienda.

Con la utilización de la metodología para el cálculo de los indicadores de fiabilidad, que permite valorar el comportamiento y efectividad del mantenimiento preventivo, descrita en Mojícar, S. y col. (2001), presenta a continuación un ejemplo donde se toman los fallos del área de molinos asociados a las seis zafras estudiadas en este trabajo y su tiempo de duración, tomándose 160 días como referencia. La información necesaria se muestra de forma organizada, en la siguiente tabla.

Tabla 1  
Número de fallos distribuidos en el tiempo

Tiempo(t)	20	40	60	80	100	120	140	160
Zafra 6 (05 -06)	8	2	3	2	2	1	0	0
Zafra 5 (04 -05)	7	1	5	2	0	0	0	0
Zafra 4 (03 -04)	4	16	3	0	0	0	0	0
Zafra 3 (02 -03)	6	0	2	1	0	0	0	0
Zafra 2 (01 -02)	4	1	2	1	2	2	0	0
Zafra 1 (00 -01)	2	2	2	2	3	2	1	2

De esta forma se determina por la ecuación:

$$N(t) = \frac{1}{z} \times \sum(m_z)$$

Obteniéndose los valores registrados en la tabla.

Tabla 2  
Valores reales de flujo de fallos N(t)

N(t)	0	5,17	8,83	11,7	13	13,8	14,17	14,33	14,67
t(días)	0	20	40	60	80	100	120	140	160

donde:

**N(t):** flujo de fallos (fallos/unidad de tiempo).

**Z:** cantidad de zafras (adimensional).

**m<sub>z</sub>:** número de fallos en cada zafra desde t = 0 hasta t = 160 (adimensional).

Con estos valores se realiza el ajuste a una distribución Weibull biparamétrica teórica, utilizando el software Curve Expert 1,3 en su versión V1.34 el cual es un sistema de ajuste para Windows con el siguiente registro: Copyright© 1995 – 1997 by Daniels Hyams, All Rights Reserved. Portions copyright Microsot Corporation, 1993.

Este software brinda la posibilidad de ajustar diferentes tipos de curvas, la función potencial de estructura:

$$Y = a \times X^b$$

De esta forma por analogía se pueden obtener los valores de los parámetros de Weibull, una vez determinados por el ajuste a y b. Los resultados aparecen a continuación:

$$\theta = 0,17$$

$$\beta = b = 0,4022$$

Se obtiene entonces el modelo de Weibull.

$$N(t) = \left( \frac{t}{0,17} \right)^{0,4022}$$

Con estos resultados se procede al cálculo de los indicadores de fiabilidad para la evaluación del mantenimiento preventivo, los cuales, según la bibliografía consultada, se determinan como sigue (Norma Cubana: 92-30 de 1981) (Mojícar, S. y col., 2001).

Tabla 3  
Indicadores de fiabilidad

Probabilidad de no ocurrencia de fallos	R(t)	$\exp - \left( \frac{t}{\theta} \right)^\beta$	$1,51 \cdot 10^{-7}$
Frecuencia media de fallos	w(t)	$\frac{t^{\beta-1}}{\theta^\beta}$	0,098

De forma similar se procede al cálculo de los indicadores para el área de generación de vapor, y la comparación de estos aparece en la tabla 4.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los indicadores de fiabilidad de las áreas de generadores de vapor y molinos, en ella se puede apreciar la situación catastrófica que existe en las mismas.

Podemos observar que el tiempo medio entre fallos en generadores de vapor es de 29,439 188 6 h, lo que significa que ocurre un fallo cada 1 día y 5 h; similarmente ocurre en el área de molinos donde la situación es más crítica, pues cada 10,188 482 h ocurre un fallo.

Tabla 4  
Comparación de los indicadores de fiabilidad entre las áreas de mayor conflicto

	Generadores de vapor	Molino
R(t)	0,008 757 29	$1,51 \times 10^{-7}$
W(t)	0,033 968 33	0,098
TMEF(h)	29,439 188 6	10,188 482

Realización de la simulación para cada STEA en estudio, según las variantes siguientes: caso base operación con el STEA tradicional, variante 1 operación con la sustitución de las maquinas de vapor por motores eléctricos, variante 2 seguir la propuesta de IPROYAZ de Camaguey que incluye la electrificación del tandem, incluir un turbogenerador con 1,5

### Análisis del cálculo económico

Tabla 5  
Resultados para el caso base

Material	Producción(t/A)	Precio(\$/t)	Valor obtenido(\$/A)
Azúcar crudo	63 075,4 604	336,9	21 250 122,61
Miel	19 859,86	41,45	82 3191,227 6
Bagazo sobrante	62 053,573 2	16,5	1 023 883,958
Total de ingresos	-	-	23 097 197,8
Costo prod. azúcar	63 075,460 4	328,05	20 691 904,78
Total de egresos	-	-	20 691 904,78
FCN			2 405 293,02

MW de potencia y sustituir el pre evaporador por una de mayor área (10 800 pies cuadrados de superficie calórica).

Al resolver los balances de masa y energía mediante el simulador termoazúcar, se encontró un grupo de corrientes y parámetros técnicos de los equipos por área consumidora de vapor.

Al establecer la comparación de los flujos de las corrientes entre el caso base y las dos variantes en estudio se observa que:

La variante 1 no muestra diferencias significativas en los flujos de las principales corrientes, excepto el bagazo sobrante, donde en el caso base se obtuvo 15 371,704 3 lb/h y para la variante 13 855,092 8 lb/h. Esta pequeña reducción del bagazo sobrante se debe a que la planta de vapor consume un poco más de bagazo para producir el vapor que demanda el nuevo turbogenerador (mayor potencia), necesario para generar la electricidad a utilizar por los motores eléctricos del área de molinos, cuestión esta que debe tenerse en cuenta al proponerse otras variantes.

En la variante 2 ocurre un incremento en los flujos de las principales corrientes respecto al caso base y la variante 1, determinado, fundamentalmente, por el aumento de la molida de 1 840 @/día a 2 185 @/día.

Todo lo anterior se puede corroborar en las tablas que se muestran a continuación.

Tabla 6  
Resultados para la variante 1

Material	Producción(t/A)	Precio(\$/t)	Valor obtenido(\$/A)
Azúcar crudo	63 075,4 604	336,9	21 250 122,61
Miel	19 859,86	41,45	823 191,227 6
Bagazo sobrante	55 931,208 5	16,5	922 864,940 3
Total de ingresos	-	-	22 996 178,78
Costo prod. azúcar	63 075,460 4	328,05	20 691 904,78
Total de egresos	-	-	20 691 904,78
FCN			2 304 274,00

Tabla 7  
Resultados para la variante 2

Material	Producción(t/A) ó (MW/h)	Precio(\$/t) ó (\$/MW)	Valor obtenido(\$/A)
Azúcar crudo	132 387,658	336,9	44 601 401,98
Miel	38 352,049	41,45	1 589 692,43
Electricidad	8 760,0	48,2	422 232,0
Bagazo sobrante	127 680,938	16,5	2 106 735,48
Total de ingresos	-	-	48 720 061,89
Costo prod. azúcar	132 387,658	328,05	434 297 71,21
Total de egresos	-	-	434 297 71,21
FCN			529 029 0,68

Al determinar el FCN para el caso base se obtuvo un valor de 2 405 293,02 \$/a, mientras que para la

$$\text{Diferencia} = \text{FCN (caso base)} - \text{FCN(variante)} = 101 019,02 \text{ $/a}$$

La variante propuesta económicamente es menos ventajosa que la del esquema que actualmente se utiliza, aunque es necesario destacar que no existe una diferencia muy significativa, por lo que se puede realizar la sustitución necesaria

$$\text{Diferencia} = \text{FCN(variante 2)} - \text{FCN(cas bas)} = 5 290 290,68 - 2 405 293,02 = 2 884 997,66 \text{ $/a}$$

$$\text{Diferencia} = \text{FCN(variante 2)} - \text{FCN(variante 1)} = 5 290 290,68 - 2 304 274,0 = 2 986 016,68 \text{ $/a}$$

Estas diferencias se acentúan debido a que, al realizar las modificaciones tecnológicas propuestas, la molienda aumenta y por lo tanto se obtiene mayor cantidad de productos (miel, azúcar, etcétera). Además, en esta variante la empresa mielera Siboney puede vender electricidad al SEN, posibilitando obtener mayores ingresos, demostrando la superioridad económica de esta variante.

variante 1 propuesta fue de 230 427 4,00 \$/a, obteniéndose una diferencia de:

para la eliminación de la obsolescencia de las máquinas de vapor.

El FCN para la variante 2 se registra en 529 029 0,68 \$/a lo que indica diferencias respecto al caso base y la variante 1 según:

Para las variantes se debe destacar que los equipos a utilizar en las modificaciones tecnológicas pueden adquirirse mediante la nueva reestructuración que viene sufriendo la industria azucarera, al utilizar equipos que estén fuera de explotación por el desmonte sufrido en algunos centrales.

---

## Conclusiones

El análisis de los fallos durante seis zafras en la empresa mielera Siboney reporta que las áreas de mayor conflicto son: generadores de vapor y molinos.

El efecto del mantenimiento preventivo, tanto en generadores de vapor como en molino, es nulo, demostrado por los indicadores de fiabilidad, la probabilidad de no ocurrencia de fallos en generadores de vapor es de 0,008 757 29 y en molinos de  $1,51 \times 10^{-7}$ ; la frecuencia media de fallos en generadores de vapor es de 0,033 968 33 y en molinos 0,098, y el tiempo medio entre fallos en generadores de vapor es de 29,439 188 6 h y en molinos 10,188 482 h.

Las variantes analizadas dan buenos resultados económicos, pero se observa que la ejecución de la propuesta de IPROYAZ es la que alcanza los mayores beneficios, siendo necesario para la empresa que se logre su implementación en los plazos previstos

## Bibliografía

Fluid Force- *Water conditioners, Water magnetic treatment, Water* <[www.fluidforce.com](http://www.fluidforce.com)>, 2003.

Ghurmán, V. E. *Problemas de la Teoría de las Probabilidades y de Estadística Matemática*/ V. E Ghurman. –URS: Editorial MIR, 1975. –364p.

Introducción a la incertidumbre de las mediciones. (s.I: s.n, s.a.- s.p).

*Introducción al acondicionamiento magnético de fluidos*, Manuatec, <<http://www.nodisa.net/Manuatec>>, 2003

Mojicar, Segismundo, *Estimación de los índices de fiabilidad mediante el Análisis del flujo de fallo en los artículos reparables de la industria azucarera* Segismundo Mojicar: Estrella de la Paz. Centro Azúcar 28 (4): 58 63, octubre- diciembre, 2001.

Oro Rivera, Osniel, *Caracterización de instalaciones generadores de vapor*, /Osniel Oro Rivera, Rodolfo Sáez Crombet, Trabajo de Diploma, Camagüey: Universidad de Camagüey, págs. 1999-120.

Probabilidad y estadística para ingenieros, /RE Walpole, *et.al*, México:[s.n], 1999.

Espinosa Pedraja, Ruben, *Consideraciones sobre los consumos energéticos en el área de evaporación en algunos CAI de la provincia Villa Clara*, Revista Centro Azúcar, Octubre/Diciembre, 1987, págs. 27-30.

Hugot, E., *Manual para ingenieros azucareros*/ E. Hugot.- La Habana: Ed. Revolucionaria, págs. 1986.-582.

Honig, P. *Principios de tecnología azucarera*. Pieter Honing, La Habana, Ed. Revolucionaria, págs. 1987-582.