



USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA *USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE*

ARTÍCULO ORIGINAL

Propuestas de mejoras energéticas en el área del tándem de un ingenio azucarero de la provincia Las Tunas, Cuba

*Proposals for energy improvements in the area of a Sugar
Mill tandem of Las Tunas province, Cuba*

M.Sc. Anislei Santiesteban Velázquez¹, Dr.C. Julio Osvaldo Nápoles González¹, M.Sc. Julio Manuel Silva Becheran^{II}

¹ Universidad de Las Tunas, Centro de Estudios de Energía y Procesos Tecnológicos, Las Tunas, Cuba.

^{II} Ingenio azucarero “Antonio Guiteras”, Delicias, Puerto Padre, Las Tunas, Cuba.

RESUMEN. El presente trabajo se efectuó en ingenio azucarero Antonio Guiteras Holmes, municipio Puerto Padre, provincia Las Tunas en la zafra 2012, con el objetivo de determinar las potencialidades de ahorro de energía eléctrica en el área del tándem, se evalúa el comportamiento de los motores de inducción trifásicos de los molinos en las condiciones actuales de operación con el conocimiento de las mediciones de las magnitudes eléctricas de tensión, corrientes y factor de potencia, con estos elementos mínimos y aplicando el método de los Datos de Placas se obtuvieron sus indicadores energéticos, estos resultados permitieron conocer el factor de carga, la eficiencia, la potencia real de salida de los motores estándares para lograr un uso más racional y eficiente de la energía en la empresa. Se realiza una propuesta para el redimensionado de estos motores.

Palabras clave: ahorro de energía eléctrica, motores eléctricos, eficiencia, potencia.

ABSTRACT. The study was performed in Sugar Mill Antonio Guiteras Holmes, municipality Puerto Padre, Las Tunas province in the 2012 harvest, the behaviour of induction motors Mills on current operating conditions with the knowledge of the measurements of the electrical parameters is evaluated voltage, current and power factor with these minimum elements and applying the method of their energy data badges indicators were obtained, these results allowed us to know the load factor, efficiency, the actual power output of the engine to achieve standards a more rational and efficient energy use in the company. A proposal for resizing these engines is performed.

Keywords: electric power saving, electric machines, efficiency, power.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera Cubana ha sido factor determinante en el desarrollo industrial del país, ha construido una muy compleja y diversificada cadena productiva, generando una importante contribución al crecimiento económico, a las exportaciones y al empleo durante más de 100 años (Cabezas, 2008).

El consumo de portadores energéticos para el sector azucarero constituye una erogación elevada de divisas, no obstante el programa energético de las empresas azucareras que se viene desarrollando en los últimos años ha contribuido a reducir los mismos a partir de la adquisición de equipos más eficientes y a reducir su dependencia del

Sistema Eléctroenergético Nacional (Ruiz *et al.*, 2013; Sarduy *et al.*, 2006).

La mayoría de las industrias azucareras de nuestro país todavía presentan elevados índices de consumos de energía (González & Peña, 2008), fundamentado por el deterioro de la base energética y la falta de un Sistema de Gestión Total de Eficiencia Energética o Administración de la Energía que garantice su control sistemático. En esta situación, la utilización racional y económica de la energía eléctrica se convierte en una tarea de enorme importancia para todos los que de una forma u otra están relacionados con su consumo.

La elección correcta de la potencia de los motores en los accionamientos industriales tiene una enorme significación para la economía nacional, determinando en mucho el costo de explotación de las instalaciones. El empleo del motor de potencia insuficiente, altera el funcionamiento del mecanismo, reduce la productividad y aumenta las probabilidades de fallos (Socarrás *et al.*, 2009).

Por otro lado, el uso de los motores de potencia superior a la necesaria, empeora los índices económicos de la instalación al aumentar el costo inicial, aumentando también las pérdidas de energía debido al descenso del rendimiento del motor, y en las instalaciones de corrientes alternas, se empeora el factor de potencia, cuya magnitud influye directamente en las cargas improductivas de las redes distribuidoras y de los generadores de los centrales eléctricas que producen energía (Felipe *et al.*, 2014; Oqueña, 2003; Sarduy *et al.*, 2006; Socarrás, *et al.*, 2009; Vilariño, 2013).

Uno de los problemas que existe en la UEB Azucarera Antonio Guiteras Holmes es la inadecuada selección de los motores de los molinos (en general sobredimensionados), lo cual conduce a un costo capital (de estos motores y de los reductores acoplados) innecesariamente alto y a un aumento del consumo de energía eléctrica y del impacto ambiental asociado. En el presente trabajo se determina el estado de carga y la eficiencia con que trabajan los motores del área del tándem de molinos con vista a sustituirlos por otros de potencia adecuada e incidir de esta forma en una mejoraría de la eficiencia energética de la empresa.

MÉTODOS

Breve caracterización del área del tándem del Central “Antonio Guiteras”

El tándem es donde se muele la caña procedente del basculador, de esta operación se obtiene el jugo que se envía al proceso y el bagazo que sirve como combustible en las calderas para la generación del vapor y como materia prima para los derivados.

Sus principales funciones son:

- Moler la cantidad normada de caña por unidad de tiempo.
- Extraer el máximo del contenido de azúcar que contiene la caña.
- Entregar el bagazo para combustible a las calderas en la cantidad necesaria y con la humedad requerida.

Está compuesto por seis molinos, todos formados por tres mazas y un alimentador forzado (4ta maza), precedido por tres juegos de cuchillas picadoras con 108 machetes del tipo Surgasaba. La alimentación a los molinos es con Tolva Donnelly cuya sección transversal es decreciente, en ella se acumula la masa cañera preparada, para alimentar al primer molino. El tándem posee una capacidad de molida de 9200 t/día.

En el área del tándem, el que mayor portador energético consumido es, como se muestra en la figura 1, la energía eléctrica. Además, el tándem, es el área dentro de la industria que tiene mayor peso en el consumo de energía (Suárez *et al.*, 2013), por lo que es el sitio donde mayores oportunidades de ahorro se pueden aplicar.

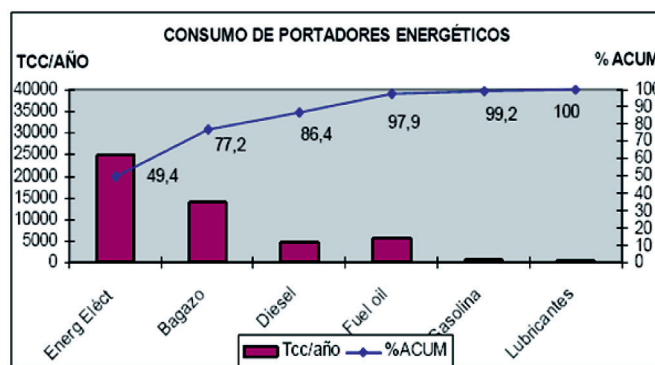


FIGURA 1. Consumo de portadores energéticos en el tándem.

Diagnósticos realizados en el área de Molinos

El tándem es un equipo pesado, generalmente bien dimensionado y de alto rendimiento, pero si se descuida su operación, no se obtendrán los resultados para lo que fue diseñado. La correcta operación de la planta moledora en su conjunto es decisiva para lograr una buena eficiencia general del central (Ruiz *et al.*, 2013; Socarrás *et al.*, 2009; Suárez *et al.*, 2013).

Para el análisis de los valores de eficiencia con que se transforma y usa la energía en el área, se realizó un Diagnóstico Preliminar o de Recorrido (Becheran *et al.*, 2013; Ruiz *et al.*, 2013), apoyados con el personal técnico, obreros y directivos del área (cuyo consumo eléctrico es del 38,6% del total de la fábrica), detectándose las siguientes irregularidades que influyen en la eficiencia energética del área:

1. Motores eléctricos en ocasiones trabajando sub-cargados y en vacío.
 - Motores de molinos y cuchillas.
 - Motores Hidráulicos de las esteras auxiliar y principal.
2. Bajo factor de potencia.
3. Problemas con las anillas, portaescobillas en los motores de molinos.
4. Existen desviaciones de tensión y desbalance de tensión.
5. Sobrecargas y paradas innecesarias
6. Existen cables, barras y aisladores en mal estado técnico.
7. Salideros de lubricantes.
8. Equipos de Bombeo explotándose irracionalmente.
9. Existen motores que se han rebobinado en los talleres de la empresa, incumpliendo con los programas de alta calidad establecida.
10. No se realiza mantenimiento a las luminarias del área.
11. La disposición de las luminarias en algunos casos no es la más conveniente.

Evaluación del comportamiento energético de los motores de los molinos

El tándem posee nueve motores asincrónicos, de rotores bobinados, el método de arranque empleado es reostáticos, con pasos de resistencia en el rotor, éstas son resistencias electrolíticas, tres motores en los juegos de cuchillas con una potencia de 800 kW, 6,3 kV y un factor de potencia de 0,89; el primer molino es movido por un motor de 800 kW con 1800 rpm y un

factor de potencia de 0,89 con un reductor de alta del tipo David Brown. El resto de los molinos son movidos por motores de 630 kW con 900 rpm y un factor de potencia de 0,89 con reductores del tipo SHN 710.

Para la evaluación del comportamiento energético de los motores de los molinos se tuvieron en cuenta las magnitudes de las presiones hidráulicas establecidas para la zafra 2012 - 2013 (Tabla 1).

Las presiones hidráulicas constituyen un recurso fundamental que se aplica en los molinos para realizar eficientemente el trabajo de extracción, las cuales influyen en el consumo de energía eléctrica de los motores de los molinos (Suárez *et al.*, 2013). Con fines de compresión de los ajustes que se emplean en la industria azucarera, se muestra esta información con unidades del sistema anglosajón de unidades y su equivalente en el S.I.

TABLA 1. Presiones hidráulicas aplicadas en los molinos

Presiones establecidas en	Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5	Molino 6
lb/pulg	2540	2359	2177	2363	2177	2540
MPa	17,51	16,26	15	16,3	15	17,51

Bajo estas condiciones, se realizaron las mediciones de las magnitudes eléctricas a todos los motores de los molinos, Tabla 2, estas se obtuvieron mediante analizadores de redes trifásicas, se confeccionaron tablas que recogen sus datos básicos, con las variables de entradas (voltaje de línea, potencia de entrada y corriente de cada línea), se calcularon los voltajes, las corrientes y los factores de potencia promedios respectivamente, se consideró un intervalo crítico de una hora, por espacio de un mes, se promediaron las magnitudes eléctricas diarias para la cual la corriente promedio es la más elevada (para el mayor índice de molienda observado).

TABLA 2. Magnitudes promedios medidas para la evaluación de los motores eléctricos de los molinos

Motores	U Prom. (V)	I Prom. (A)	cosφProm.
Motor Molino 1	6237,2	72,5	0,86
Motor Molino 2	6238,1	47,2	0,78
Motor Molino 3	6178,68	43,74	0,76
Motor Molino 4	6179,2	45,1	0,77
Motor Molino 5	6237,2	46,5	0,78
Motor Molino 6	6238,1	62,2	0,84

Procedimientos para determinar la potencia real de salida de los motores eléctricos del área del tándem

Para evaluar la eficiencia de los motores de los molinos en las condiciones actuales de operación según la instrumentación existente se emplea el método de los datos de placa (Felipe *et al.*, 2014; Santana y Madieto, 2007; Verucchi *et al.*, 2013).

La eficiencia nominal de placa se utiliza para determinar la eficiencia operacional y el estado de carga de los motores. Este método se basa en considerar la eficiencia constante para todo el estado de carga de la máquina (Felipe *et al.*, 2014; Santos, Sarduy *et al.*, 2013; Sarduy *et al.*, 2006).

Procedimiento de cálculo empleado

Se toma la medición de la potencia de entrada o en su defecto la tensión, la corriente y el factor de potencia promedio de las fases.

a) Cálculo de la potencia de entrada.

$$kW_{Entrada} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{Prom} \cdot I_{Prom} \cdot \cos\phi_{Prom}}{1000} \quad (1)$$

b) Se calcula la potencia de entrada nominal.

$$kW_{Entrada\ NOM} = \frac{kW_{Salida\ NOM}}{\eta_{NOM}} \quad (2)$$

Si se tiene la característica operacional del fabricante se puede precisar la eficiencia y el factor de carga. Se pueden utilizar estimados de eficiencia de motores de diseño estándar a partir del frame y otros datos.

c) Se calcula el factor de carga

$$\%FC = \frac{kW_{Entrada}}{kW_{Entrada\ NOM}} \cdot 100 \quad (3)$$

d) Se calcula la eficiencia ajustada del motor en condiciones reales de operación.

El cálculo de la eficiencia de los motores para las diferentes condiciones de operación se realiza aproximadamente según (Felipe, *et al.*, 2010; Santos, *et al.*, 2013):

$$\eta_{Ajustada} = [(\eta_{FC} + \alpha_w) \beta_{DV} \cdot \xi_{AR}] - \gamma_R \quad (4)$$

Donde:

$\eta_{Ajustada}$ - Eficiencia de operación, evaluada el factor de carga actual y ajustada por las condiciones de operación;

η_{FC} - Eficiencia del motor evaluada sólo a partir de la condición de carga actual;

α_w - Ajuste por variación de tensión;

β_{DV} - Ajuste por desbalance de tensión;

ξ_{AR} - Ajuste por contaminación de armónicos;

γ_R - Ajuste por rebobinado.

Para determinar la eficiencia ajustada al motor hay que determinar el siguiente indicador:

- Eficiencia al factor de carga actual.

La eficiencia se calcula de acuerdo con el método de interpolación lineal. Las eficiencias a los diferentes factores de carga se obtienen de los datos del fabricante:

$$\eta_{FC} = \left(\frac{FC - FC_1}{FC_2 - FC_1} \right) (\eta_2 - \eta_1) + \eta_1 \quad (5)$$

donde:

FC: Factor de carga del motor actual;

FC₁: Factor de carga del motor de potencia inferior;

FC₂: Factor de carga del motor de potencia superior;

η₁: Eficiencia del motor de potencia inferior;

η₂: Eficiencia del motor de potencia superior.

Una vez determinada la eficiencia del motor en función del factor de carga, se deben realizar los ajustes derivados de las condiciones reales de explotación.

- Diferencia o variación de la tensión (Cuando existe diferencia entre la tensión de operación del motor y su tensión nominal).
- Desbalance de tensión (Cuando hay diferencia entre las tensiones de línea que alimentan el motor).
- Motor rebobinado (Cuando el motor ha sido rebobinado).
- Contaminación con armónicos superiores.

Análisis de la influencia de los factores para corrección

- Variación de tensión

La variación promedio medido de la tensión se determina según la expresión:

$$V_{\text{promedio.medido}} = \frac{[(V_{12}) + (V_{13}) + (V_{23})]}{3} \quad (6)$$

La variación porcentual de la tensión se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Variación de Tensión} = \left[\frac{V_{\text{promedio.medido}}}{V_{\text{nominal}}} - 1 \right] \cdot 100 \quad (7)$$

Una vez obtenido este valor, con la ayuda de la Figura 2, se determina el porcentaje de cambio en la eficiencia. En esa Figura, se muestra también las afectaciones en el factor de potencia, la velocidad y la corriente.

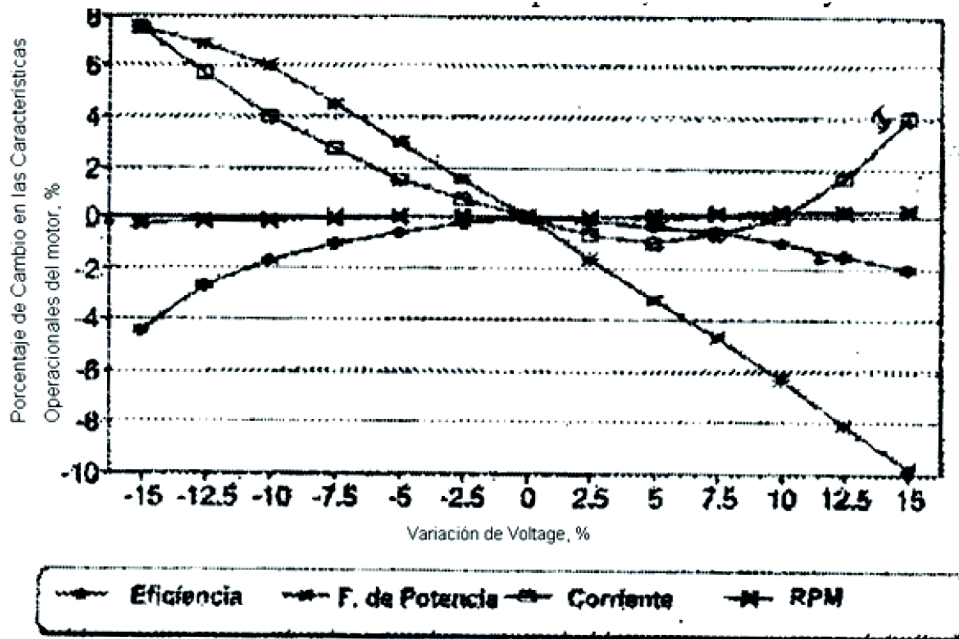


FIGURA 2. Porcentaje de ajustes por variación de tensión (Felipe *et al.*, 2010).

Desbalance de tensión

La operación con tensiones desbalanceadas es la condición anormal más generalizada que sufren las maquinas asincrónicas en los sistemas eléctricos industriales (Oqueña, 2003; Santos, *et al.*, 2013; Sarduy, Teyra, & Felipe, 2006), esto ocasiona el aumento del calentamiento, reducción de la eficiencia, reducción del momento de arranque, aumento del deslizamiento, aumento de los kVA necesarios para el arranque, etc. Se define el porcentaje de desbalance como:

$$\text{Máxima Diferencia al Promedio} = (V_{\text{máximo}} - V_{\text{promedio}}) \quad (8)$$

El desbalance de tensión se determina:

$$\text{Desbalance de tensión (\%)} = \left[\frac{\text{Máxima Diferencia al Promedio}}{\text{Tensión Promedio}} \right] \cdot 100 \quad (9)$$

Una vez determinado el desbalance de tensión se determina su ajuste (β_{DV}) a través de la Figura 3.

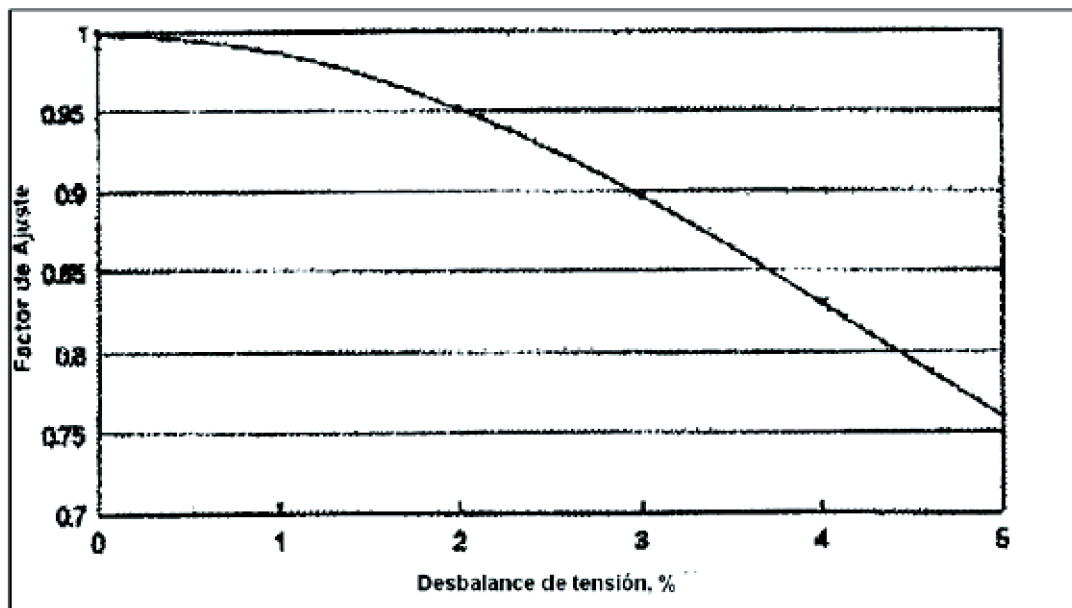


FIGURA 3. Factor de ajuste por desbalance de tensión (Felipe *et al.*, 2010).

Ajuste por rebobinado

Todo motor que ha sido rebobinado, sufre un deterioro de la eficiencia, cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o que no cuentan con los materiales de calidad adecuada, las pérdidas pueden ser de 4,2% o más (Teyra *et al.*, 2013). El rebobinado de los motores implica pérdidas de la eficiencia cuando en el proceso de reparación se somete a altas temperaturas, a golpes, torsiones y desarmes incorrectos (Dorrbercker *et al.*, 2007; Rueda *et al.*, 2012).

Determinación de la potencia real de salida

La potencia real de salida en el eje se determina por:

$$P_{\text{sal mec}} = [P_{\text{ent elec}} (\text{kW})] \eta_{\text{ajustada}} \quad (10)$$

Selección de la potencia adecuada de un motor

La potencia nominal de un motor, deberá aproximarse a la demandada por la carga, si el motor trabaja lejos de su potencia nominal, disminuyen sustancialmente su rendimiento y su factor de potencia, por otro lado, la potencia solicitada al motor por la carga está definida por las características de ésta, independientemente de la potencia nominal del motor, de aquí, la gran importancia que tiene la adecuada selección de la potencia de los motores.

Una vez conocida la potencia al freno, se selecciona el motor para que trabaje cerca del 75% de carga a través de la siguiente ecuación:

$$P_{\text{ad mec}} = \left(\frac{P_{\text{sal mec}}}{0,75} \right) \text{kW} \quad (11)$$

Una vez determinada la potencia necesaria se calcula el factor de carga al que trabajará el motor de potencia adecuada, el cálculo se realiza mediante la ecuación:

$$FC_{\text{ad mec}} (\%) = \left(\frac{P_{\text{sal mec}}}{P_{\text{ad mec}}} \right) \quad (12)$$

Cálculo de la potencia demandada por el nuevo motor.

$$P_{\text{ad elect.}} = \left(\frac{P_{\text{sal mec}}}{\eta_{\text{ad ajustada}}} \right), \text{kW} \quad (13)$$

Cálculo de ahorros energéticos por la sustitución del motor estándar por otro de potencia adecuada

a) Cálculo del ahorro AD, de potencia (demandada)

$$AD = kW_{\text{entrada}} - P_{\text{elec.ad}}, \text{kW} \quad (14)$$

El valor de la energía eléctrica que se ahorra por la sustitución del motor por otro de potencia adecuada durante la zafra es:

$$S = AD \cdot T \cdot C \quad (15)$$

donde:

S- Ahorro económico por disminución del consumo de energía, peso;

AD- Diferencia de potencia eléctrica consumida en kW;
C- Costos de la energía en peso/kWh;
T- tiempo de funcionamiento del motor, h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del diagnóstico de recorrido efectuado y mediciones eléctricas efectuadas al área, se determinó que el motor de molino # 3 es el más crítico de la instalación en las condiciones actuales de operación debido a los siguientes factores:

- Es al que menos presión hidráulica se le aplica según las

normas establecidas.

- Las mediciones del consumo de corriente se encuentran al 72% de sus valores nominales.
- Las masas del molino presentan un porcentaje alto de desgastes por excesivo tiempo de trabajo.

Para el estudio del motor del molino # 3 se realizaron mediciones de las magnitudes eléctricas en las condiciones actuales de operación. Los valores promedios de las mediciones realizadas para la evaluación del motor del molino en el periodo analizado (mayor índice de molienda) se muestran en la Tabla 2, y la evaluación energética del molino # 3 se muestran en la Tabla 3.

TABLA 3. Evaluación energética del motor del molino # 3. Análisis del caso

$\frac{kW_{Entrada}}{kW}$	$\frac{kW_{Entrada\ NOM}}{kW}$	FC, %	$\eta_{FC}, \%$	V_{promed}	Desbalance tensión, %	$\eta_{Ajustada}, \%$	$P_{sal\ mec}, kW$
355,33	692,30	51,32	88,61	6178,66	1,57	85,73	305,2

La variación de la tensión es igual a: -1,93, con este valor y con el auxilio de la Figura 2 quedó establecido como: $\alpha_w = -0,1\%$.

El ajuste por rebobinado se tomó igual a 1,0% (fue reparado una vez). No ha sido posible la determinación de la contaminación armónica por insuficiencia de la instrumentación, por tanto a pesar de que su influencia es negativa respecto a la eficiencia, no se toma en cuenta en este trabajo, por tanto despreciando la contaminación armónica

$$\xi_{AR} = 1$$

Resultados de la evaluación de los motores de los molinos

Para la evaluación de los restantes motores de los molinos se empleó el mismo procedimiento aplicado anteriormente, en la Tabla 4, se reflejan los resultados alcanzados en la investigación, como se puede observar 66% de los motores evaluados se encuentran trabajando con un factor de carga por debajo del 75%, disminuyendo su eficiencia, el factor de potencia, e incidiendo en el consumo de excesivo de energía.

TABLA 4. Resultados alcanzados en la investigación de los motores de los molinos

Motores	$P_{ent\ elec} (kW)$	%FC (%)	$\eta_{FC} (%)$	$\eta_{ajustada} (%)$	$P_{sal\ mec} (kW)$
Molino 1	729,79	83,01	89,78	86,89	643,12
Molino 2	397,31	57,38	89,71	86,82	344,96
Molino 3	355,33	51,32	99,61	85,73	305,2
Molino 4	361,59	52,24	89,47	86,58	313,1
Molino 5	381,33	55,1	89,61	86,71	330,69
Molino 6	571,47	82,54	90,66	87,65	501,49

Propuesta de selección de potencia adecuada para el motor del molino

Una vez conocida la potencia al freno, se determina la potencia mecánica para que trabaje cerca del 75% de carga. Según la expresión (11). Para esta condición, la potencia mecánica que debe entregar el motor debe ser: $P_{ad\ mec} = 406,9\ kW$

La potencia adecuada nominal ($P_{ad\ mec\ NOM}$) estará determinada por la potencia normada (nominal) del motor inmediata superior a 406,9 kW, en este caso, 500 kW. El cálculo del factor de carga al cual trabajará el nuevo motor se determina aplicando la expresión (12): $FC_{ad\ mec} = 61,38\%$

Como se observa, en este caso de estudio, es posible incrementar la cargabilidad del motor desde el 51% hasta el 61%. A partir del conocimiento de los datos técnicos del nuevo motor (disponibles en el momento de su adquisición), se puede entonces calcular el incremento de la eficiencia y por tanto del

ahorro energético posible.

Para determinar la eficiencia del nuevo motor se determina la eficiencia con base en el factor de carga mediante el método de interpolación, a partir de que se propone el empleo de motores de eficiencia estándar de 500 kW, con eficiencia de 91%, puesto existe disponibilidad de los mismos, lo que minimiza los costos de sustitución.

El ajuste de la eficiencia del motor propuesto.

Con $\% FC_i = 50\% = 89,86\%$

Con $\% FC_i = 75\% = 90,81\%$

Sustituyendo en (5): $\eta_{FC\ ad} = 90,29\%$

Cálculo de la eficiencia ajustada para el motor de potencia adecuada, donde: $\alpha_w = -0,1\%$; $\beta_{DV} = 0,98$, $\gamma_R = 0$, se toma este valor pues el motor propuesta, (500 kW), es nuevo.

Sustituyendo en (4): $\eta_{Ajustada} = 88,38\%$

Cálculo de la potencia demandada por el nuevo motor, expresión (13), para entregar la potencia media demandada por el molino: $P_{ad\ elect} = 345,32\ kW$.

Resultados para determinar la potencia adecuada de los motores de los molinos

Aplicando el procedimiento expuesto para cada motor de los molinos 2, 3, 4, 5, en las condiciones actuales de operación, se obtienen los resultados que aparecen en la Tabla 5, de las magnitudes eléctricas para la selección de los motores de potencia adecuada.

TABLA 5. Estado operacional tras la propuesta de sustituir motores por otros de potencia adecuada (500 kW)

Motores	$P_{sal\ mec}, kW$	Actual			Propuesta		
		%FC, %	$\eta_{Ajustada}, \%$	$P_{ad\ elect}, (kW)$	%FC, %	$\eta_{Ajustada}, \%$	$P_{ad\ elect}, kW$
Molino 2	344,96	57,38	86,82	397,31	68,99	86,90	396,96
Molino 3	305,2	51,32	85,73	355,33	61,38	88,38	345,32
Molino 4	313,1	52,24	86,58	361,59	62,61	88,80	352,59
Molino 5	330,69	55,1	86,72	381,33	66,13	88,83	372,27

Para el caso de estudio, la potencia demandada el ahorro de potencia instalada es de 130 kW, el porcentaje de carga con el motor propuesto es 61,38%, la diferencia de potencia eléctrica consumida de 10 kW y se ha considerado un tiempo medio de trabajo de 20 horas diarias por 5 meses de zafra, para un total de 3 000 h. El costo de la energía en el sector es de 0,22 peso/kWh.

El ahorro económico por disminución del consumo de energía $S = \$6\ 600,00$ (peso).

En el trabajo se propone la sustitución de 4 motores de 630 kW por 500 kW, lo cual permite determinar que los ahorros económicos totales, aplicando este mismo método en cada uno de los casos restantes, arroja 28,42 kW de ahorro de potencia demandada total, equivalentes a 85 260 kWh por zafra: $S_T = \$18\ 757,20$ (peso).

CONCLUSIONES

- Al caracterizar energéticamente la fábrica, se ratificó que el portador de mayor impacto es la energía eléctrica, representando el 49,41% del total y el área de mayor incidencia es la de basculadores y molinos con un 38,6% de todas, con un consumo de energía eléctrica del 61,11% de todos los portadores.
- Una de las mayores posibilidades de incremento de la eficiencia energética en el área se encuentra en el dimensionado de los motores de los molinos del tándem. Con la sustitución de los motores se podrá reducir el consumo de energía eléctrica en un 7,66% en el área de basculadores y molinos. A partir de los resultados de la investigación se demuestra que con la sustitución de los motores evaluados por otros de potencia adecuada, se pueden ahorrar 85 260 kWh de energía eléctrica por zafra con un importe total de \$ 18 757,20 (peso). Se describió el método de los datos de placa para evaluar el estado de carga de los motores más potentes del área en las condiciones actuales de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECHERAN, S. M.; J. GONZÁLEZ; N. CHONG: "Sistema de gestión total de eficiencia energética en una destilería de etanol de caña de azúcar" [en línea], *Revista Centro Azúcar*, 40 (1), 1-8, 2013, ISSN: 2223-4861, Disponible en: <http://centrozucar.qf.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2013/1/5.pdf> [Consulta: 20 de febrero 2014].
- CABEZAS, C. E. "La industria azucarera cubana en los años 80 del siglo XIX", *ATAC*, ISSN: 0138- 75532: 38-46, 2008.
- DORRBERCKER, A. S.; L. ÁLVAREZ; S. FERNÁNDEZ; J. ARCE; E. BARREIRO; Y. ZURITA, Y.: *Matriz de falla de los motores de inducción* [en línea], *Ingeniería Energética*, XXVIII (1), 53 - 59, 2007, ISSN: 1815-5901, Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/102/101> [Consulta: 20 de febrero 2014].
- FELIPE, V. P.; M. TEYRA; A. PADRÓ; J. SARDUY; I. ABRIL; L. FERNÁNDEZ: *Uso final de la Energía Eléctrica*, ISBN: 978-959-07-1132-9, Cienfuegos, Cuba, 2010.
- FELIPE, V. P.; M. TEYRA; J. SARDUY; R. CALVO: *Determinación IN-SITU del factor de potencia y la eficiencia de motores asíncronos a cargas parciales* [en línea], *Ingeniería Energética*, XXXV (1), 15-26, 2014, ISSN: 1815-5901, Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/380/382> [Consulta: 20 de febrero 2014].
- GONZÁLEZ, R. E.; L.E. PEÑA: *Disminución del índice de consumo de agua por caña molida en el central "Cristino Naranjo"* [en línea], *Ciencias Holguín*, XIV (2), 1-11, 2008, ISSN: 1027-2127, Disponible en: <http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/434/306> [Consulta: 20 de febrero 2014].
- OQUEÑA, Q. E.: *Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción* [en línea], *El Hombre y la Máquina*, 20-21 (julio-diciembre): 52-59, 2003, ISSN: 0121-0777, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47812406007> [Consulta: 20 de febrero 2014].
- RUEDA, R. I.; B. MENA; M. LLANES; O. GUILARTE: *Evaluación energética de motores de inducción a través del modelo de motor agregado* [en línea], *Ingeniería Energética*, Vol. XXXIII (2): 157-171, 2012, ISSN: 1815 - 5901, Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/331/326> [Consulta: 20 de febrero 2014].
- RUIZ, M. O.; B. ÁLVAREZ; L. MACHÍN; R. BERMUDEZ: *Implementación de un sistema de gestión energética y ambiental en la fábrica de alimentos balanceados "Chichí Padrón" de Villa Clara*, [en línea], *Revista Centro Azúcar*, Vol. 40 (1), 9-15, 2013, ISSN: 2223-4861,

Disponible en: <http://centroazucar.qf.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2013/1/7.pdf>. [Consulta: 20 de febrero 2014].

SANTANA, D.; R. MADIEDO: *Valoración de métodos para la determinación de la eficiencia de motores de inducción que accionan cargas en régimen de trabajo continuo variables en el tiempo [en línea]*, *Ingeniería Energética*, Vol. XXVIII (3): 25-29, 2007, ISSN: 1815-5901, Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/79/78> [Consulta: 20 de febrero 2014].

SANTOS, S. V. J. SARDUY; P. FELIPE; M. TEYRA: *Análisis de eficiencia de motores asincrónicos en presencia de desbalances y armónicos en la tensión [en línea]*, *Ingeniería Energética*, Vol. XXXIV (2): 163-173, 2013, ISSN: 1815-5901, Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/366/368> [Consulta: 20 de febrero 2014].

SARDUY, G. J.; M. TEYRA; P. FELIPE: *Efecto del desbalance de tensión sobre la eficiencia de motores asincrónicos. Evaluación en la estación experimental del central "Ciudad Caracas" [en línea]*, *Revista Centro Azúcar*, Vol. 33 (4): 78-84, 2006, ISSN: 2223-4861, Disponible en: <http://centroazucar.qf.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2006/4/14.pdf> [Consulta: 20 de febrero 2014].

SARDUY, G. J.; M. TEYRA; A. A. LOZANO: *Competitividad y eficiencia en las oportunidades de ahorro de energía eléctrica en la industria azucarera [en línea]*, *Revista Centro Azúcar*, Vol. 33 (1): 75-82, 2006, ISSN: 2223-486, Disponible en: <http://centroazucar.qf.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2006/1/13.pdf> [Consulta: 20 de febrero 2014].

SOCARRÁS, M. I.; J. BRIT; R. CASA: "Valoración energética de algunos accionamientos de un ingenio azucarero de la provincia Granma, Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN-1010-2760, Vol. 18 (2): 64-69,

SUÁREZ, C. J.; J. ORTIZ; P. CASTAÑEIRAS; Y. LEYVA; J. CEBALLO: *Ahorro energético en tándem de molinos de caña de azúcar mediante regulación de presiones hidráulicas [en línea]*, *Ingeniería Mecánica*, 16 (3), 186-193, 2013, ISSN: 1815-5944, Disponible en: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/463/819> [Consulta: 20 de febrero 2014].

TEYRA, DE A. M. J. SARDUY; P. FELIPE: *Nuevo procedimiento para la evaluación de los motores monofásicos de inducción [en línea]*, *Ingeniería Energética*, XXXIV (1), 73-84, 2013, ISSN: 1815-5901, Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/356/358> [Consulta: 20 de febrero 2014].

VERUCCHI, C. J.; R. RUSCHETTI; E. KAZLAUSKAS: "High efficiency electric motors: economic and energy advantages", *IEEE Latin America Transactions*, ISSN: 1548-0992. ISSN-L: 1548-0992, Vol. 11 (6), 1325-1331, 2013.

VILARIÑO, A. J.L.: *Selección de potencias nominales y tensiones de motores eléctricos acompañantes de bombas [en línea]*, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. XXXIV (1), 59-72, 2013 ISSN: 1815-591X, Disponible en: <http://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/139/144> [Consulta: 20 de febrero 2014].

Recibido: 17 de octubre de 2013.

Aprobado: 22 de septiembre de 2014.

Publicado: 28 de diciembre de 2014.

Anislei Santiesteban Velázquez, Ing. Profesor, Universidad de Las Tunas, Centro de Estudios de Energía y Procesos Tecnológicos, Ave. Carlos J. Finlay s/n. Telf. (53) (31) 34 8014 ext. 146, Las Tunas, Cuba. C.P: 75100. Correo electrónico: anisleisv@ult.edu.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

*Todos nuestros servicios
a su disposición*

BIBLIOTECA ANTONIO MACHADO RUIZ

UNIVERSIDAD DE GRANMA (UGR)