



Nº5 Marzo 2011

## EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO DEL SEXTO MOLINO DE UN TÁNDEM CAÑERO

**Dr C José Marcos Gil Ortiz\***

[jgil@ult.edu.cu](mailto:jgil@ult.edu.cu)

**Dr C Osvaldo Julio Nápoles González\***

[jnapoles@ult.edu.cu](mailto:jnapoles@ult.edu.cu)

**Dr C Pedro Dionisio Remedios Castañeda\***

[pdremedio@ult.edu.cu](mailto:pdremedio@ult.edu.cu)

**Jorge Corrales Suárez\***

Ing. Mecánico

[jorgecs@ult.edu.cu](mailto:jorgecs@ult.edu.cu)

**Daniel Rodríguez Peña\***

[daniel@ult.edu.cu](mailto:daniel@ult.edu.cu)

\*Profesor de la Universidad de Las Tunas. Cuba

**RESUMEN.** Para determinar el consumo de energía del sexto molino del Tándem A de la empresa azucarera “Antonio Guiteras”, fueron tomadas las lecturas de las corrientes eléctricas del motor, las presiones hidráulicas aplicadas sobre las mazas, el flujo de masa de la caña y el nivel de imbibición. La variable que más influyó sobre el consumo de energía fue la presión hidráulica, mientras que no mostró variaciones significativas en relación con la masa de fibra y el nivel de imbibición. Se concluye que el consumo de energía del molino estuvo fuertemente afectado por la presión hidráulica y otras variables no consideradas en los experimentos.

Palabras clave: presión hidráulica, molinos, tándem

**ABSTRACT.** To determine the consumption of energy of the sixth mill of the Tandem A of the sugar company “Antonio Guiteras”, the readings of the electric currents of the motor were taken, the hydraulic pressures applied on the maces, the flow of mass of the cane and the imbibition level. The variable that more influenced on the energy consumption was the hydraulic pressure, while it didn't show significant variations in connection with the fiber mass and the imbibition level. It concludes that the consumption of energy of the mill was strongly affected by the hydraulic pressure and other variables not considered in the experiments.

Keywords: hydraulic pressure, mills, tandem

## Introducción

El consumo de energía en un tándem de molinos cañeros puede depender de muchos factores, tanto mecánicos como operacionales -diseño del molino, estado mecánico, velocidad de las mazas, presiones hidráulicas, ajustes de los molinos, nivel de imbibición y temperatura del agua-, y de las características de la caña que entra al molino -masa, fibra en caña, variedad y preparación, etc.- (Hugot, 1974; Jenkins, 1971; MINAZ, 1996). Existen ecuaciones empíricas propuestas por diferentes autores (Hugot, 1974; MINAZ, 1996) para el cálculo de consumo de potencia medido en los bornes del motor eléctrico de un molino cañero. El Ministerio del Azúcar de Cuba -MINAZ- propone una ecuación empírica en el Manual de Operaciones de la Planta Moledora (MINAZ, 1996), pero se desconoce si es aplicable a un molino de tres masas con cuarta maza para alimentación forzada.

EL objetivo de la investigación fue determinar como influyeron sobre el consumo de potencia del motor ( $P_{red}$ ), las presiones hidráulicas ( $P_r$ ), la masa de fibra en caña ( $MF$ ) y el nivel de imbibición ( $Im$ ), así como comparar los resultados experimentales con los de la fórmula empírica propuesta en el Manual de Operaciones de la Planta Moledora del MINAZ (MINAZ, 1996), para el cálculo de la potencia en los bornes del motor.

## Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Tándem A de molinos de la empresa azucarera Antonio Guiteras de la provincia de Las Tunas, en el período comprendido entre el 14 de marzo y el 18 de abril del año 2006.

El tándem A de molinos de la empresa azucarera Antonio Guiteras, tiene una capacidad de molienda de 600 000 @/día. Está precedido por dos juegos de cuchillas para la preparación inicial de la caña y está compuesto por seis molinos de tres mazas con cuarta maza alimentadora y una tolva alimentadora Donnelly en el primer molino. Este último es un molino desmenuzador, que tiene como función combinada la preparación de la caña y la extracción del jugo primario. Las mazas son de 2133,6 mm (7ft) de largo y 1066,8 mm (42in) de diámetro, con una velocidad angular de 5,87 r/min en el sexto molino.

La energía necesaria para accionar el molino 6, la entrega un motor eléctrico inglés con datos de chapa: 630 KW, 900 r/min,  $\cos \phi = 0.86$ . Estator: 72 A, 6,3 KV; Rotor: 9,15 KV y 430 A. Conexión rígida del eje del motor al reductor.

En el área de basculadores, antes de las cuchillas existe un dispositivo que permite determinar cuando la caña seleccionada previamente, de un vagón de ferrocarril o un camión, entra al primer molino del tándem. El tiempo de retención de la caña en cada molino y la estera intermedia, fue determinado experimentalmente.

Fueron realizadas 44 corridas con los datos de fábrica, sin alterar los parámetros del proceso, en el período comprendido del 14 de marzo al 18 de abril del año 2006. Se tomaron los datos de variables que pudieron influir en el consumo de potencia de un molino cañero: masa de caña, % fibra en caña, presión hidráulica, flujo y temperatura del agua de imbibición. El flujo másico de fibra en caña que procesó el molino estuvo en el rango de 46 a 49 t/h y el nivel de imbibición en el rango de 1.50 a 1.76 t agua/t fibra, mientras que la presión hidráulica en el rango de 2325 a 2800 Psi (lbf/plg<sup>2</sup> manométricas).

## Materiales

1. Dispositivo automático diseñado en la empresa azucarera Antonio Guiteras, para el seguimiento de la caña en la estera conductora principal.
2. Kilowátmetro inglés instalado en la pizarra de control del tándem.

3. Manómetros tipo Bourdon instalados para medir la presión hidráulica que se aplica en los lados opuestos del molino.
4. Flujómetro para el agua de imbibición.
5. Prensa hidráulica del laboratorio azucarero, de 0 a 100 KN. URSS, 1982.
6. Refractómetro inglés ABBE, calibrado a 20°C. 1999.

## Métodos

La caña empleada en la investigación, llegó por ferrocarril procedente de los Centros de Acopio. En éstos se elimina un elevado por ciento de la paja que no fue capaz de eliminar la combinada en el campo. Los carros de ferrocarril se seleccionaron al azar. El trabajo se realizó junto con el encargado por el laboratorio de muestrear la caña que llega a la fábrica.

1. En cada corrida se anotó el número del carro de caña y de la tarjeta correspondiente, en la oficina de pesaje, se obtuvo el peso de la caña.
2. Cuando la caña llegó al dispositivo de seguimiento, éste fue activado para determinar cuando la caña comienza a entrar al tándem. Mientras que el encargado de tomar la muestra esperó la señal, se anotaron las presiones hidráulicas del molino 6, el flujo del agua de imbibición (m<sup>3</sup>/h) y la temperatura.
3. A partir del momento en que la caña comenzó a entrar al primer molino, fueron tomadas muestras de caña durante un tiempo igual al de retención de la caña en el tándem. A partir de ese momento se comenzaron a anotar las lecturas del amperímetro y el consumo de potencia indicado por el kilowatímetro de cada motor, cada 2 min durante 10 min.
4. Se obtuvieron en el laboratorio los datos de Brix y % fibra en caña.
5. La potencia en los bornes del motor (P red), fue calculada a partir de la fórmula empírica recomendada en el Manual de Operación de la Planta Moledora (MINAZ, 1996):

$$P \text{ red} = 0,0104 \times [C \times V^{1.219} \times T^{0.918}] \quad (1)$$

Donde:

P red se da en KW

C es el Factor de corteza. Toma su valor en dependencia de los equipos de preparación de la caña que anteceden al molino. En este caso C = 1.

V es la Velocidad tangencial de las mazas del molino en su diámetro medio, ft/min.

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{12} \quad (2)$$

Donde: D es el diámetro medio, ft /4/ y N las r/min de las mazas.

T es la Carga hidráulica total, ton cortas de 2000 lb inglesas.

$$T = \frac{\pi \cdot P \cdot D^2}{4000} \quad (3)$$

Donde: P es la presión manométrica de aceite, (libras por pulgadas cuadradas, psi)

D es el diámetro del cilindro para la presión hidráulica, (pulgadas, in).

## Resultados y Discusión

La caña descargada por el carro de ferrocarril, pasa por un equipo que nivela la altura del colchón de caña antes de llegar a las cuchillas picadoras. Ese proceso garantiza en cierta medida que la masa de caña que llega a las cuchillas tenga una altura del colchón y densidad aproximadamente constantes, aunque depende de otros factores como: la longitud y grueso de los tallos de la caña, el por ciento de materias extrañas, la variedad de caña, etc.

Un análisis de regresión múltiple de  $P_{red} = f(Pr, MF, Im)$  indicó que en las condiciones mecánicas y de operación en que fue evaluado el molino, sólo la presión hidráulica aplicada ( $Pr$ ) tuvo un efecto apreciable sobre el consumo de potencia del motor. En los rangos en que se mantuvieron las variables, no fueron significativos los efectos del nivel de imbibición ( $Im$ ) y el flujo másico de fibra ( $MF$ ) procesada sobre el consumo de potencia.

Durante el período analizado, el nivel de imbibición –t de agua/t de fibra en caña– varió en el rango de 1.50 a 1.76 t agua/ t fibra, por debajo del límite recomendado de 2. El agua de imbibición que se añade debe ser extraída del colchón de bagazo por el molino, lo que implica un consumo adicional de energía. Sin embargo, el efecto de esta variable no tuvo un efecto apreciable sobre el consumo de potencia.

El comportamiento del consumo de potencia del motor en relación con la masa de fibra que procesa el molino, no tuvo una tendencia definida, lo que indicó que en la etapa analizada, existieron otros factores mecánicos y operacionales que influyeron más sobre el consumo de energía.

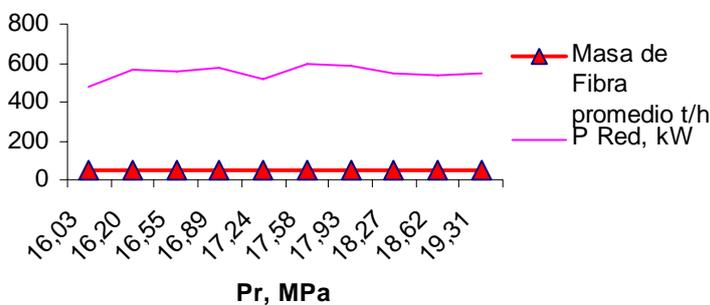


Fig. 1 Potencia real demandada por el motor en dependencia de la masa de fibra y presión hidráulica.

El consumo de potencia real,  $P_{red}$ , del motor eléctrico experimentó variaciones que no son atribuibles al flujo másico de fibra y la presión hidráulica,  $Pr$ , ya que el mayor consumo de potencia, 599 KW, correspondió a 48 t/h de fibra y una  $Pr$  de 17.58 M Pa, mientras que para una mayor presión (18.62 M Pa) y flujo de fibra (49 t/h), el consumo de potencia fue de 533 KW, (Fig. 1). Estos resultados aparentemente contradictorios, pudieron estar relacionados con el estado

mecánico del molino, de ajustes o de operación, aspectos que no fueron registrados. Ese comportamiento indica que es necesario prestar atención a otras variables que pueden afectar notablemente el consumo de potencia del molino y que tradicionalmente no se les presta la debida atención durante la zafra.

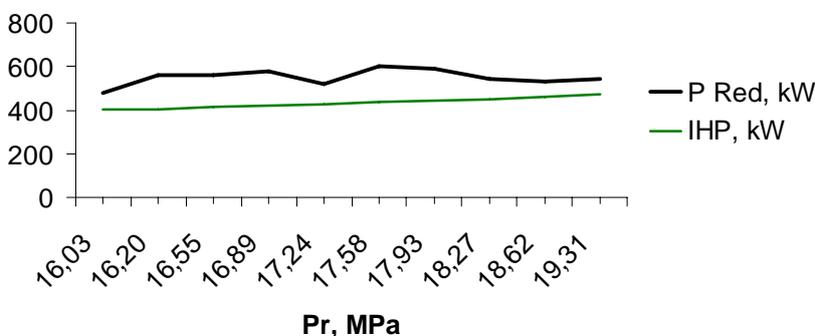


Fig. 2 Potencia en los bornes del motor -  $P_{red}$ - y potencia calculada por la fórmula empírica del MINAZ –IHP- vs  $Pr$ .

La potencia en los bornes del motor, calculada a partir de la fórmula empírica (1) recomendada en el Manual de Operación de la Planta Moledora (MINAZ, 1996), IHP, dio valores menores respecto a la real,  $P_{red}$ , (Fig. 2), con errores entre un 13 y un 28 %. Por esa situación, no es recomendable el empleo de esa ecuación empírica para la selección del motor de un

molino cañero con maza alimentadora.

Una parte de la diferencia entre el consumo real y el calculado, debió estar asociada al consumo de potencia de la maza alimentadora. Sin embargo, la otra parte no pudo ser explicada. Ese hecho indicó que otras variables no contempladas en la evaluación, influyeron sobre el consumo de energía.

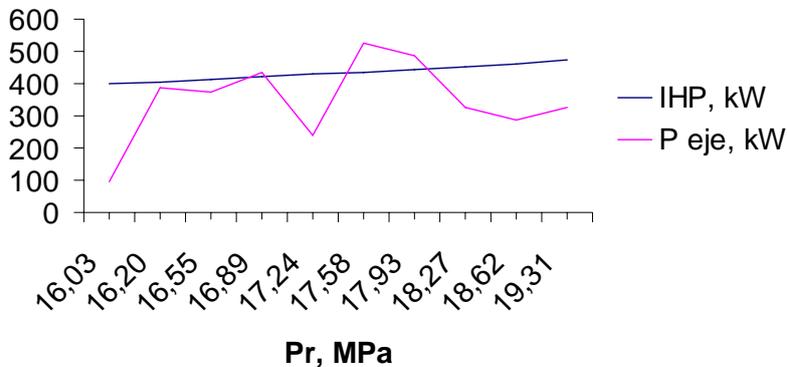


Fig. 3 Comportamiento de la potencia de eje –P eje– en relación con la potencia (IHP) calculada por la fórmula empírica (1).

Cuando se compararon la potencia que entrega el motor (potencia de eje, P eje) y la potencia que toma el motor de la red (IHP), calculada por la fórmula empírica (1), se encontró que en la mayoría de las corridas la P eje fue menor, pero en algunos casos mayor. (Fig. 3). Ese resultado corroboró la invalidez de la ecuación (1) para ser empleada en la selección del motor de un molino cañero.

#### Conclusiones:

1. De las variables analizadas, sólo la presión hidráulica aplicada en el molino, influyó significativamente sobre el consumo de potencia del motor.
2. El cálculo del consumo de potencia medido en los bornes del motor, por la fórmula empírica propuesta en el Manual de Operación de la Planta Moledora, dio valores por debajo del valor real, con errores de más de un 13%, por lo que no se recomienda para la selección del motor de un molino cañero de tres mazas con maza alimentadora.
3. Existieron otras variables, no contempladas en el experimento, que incrementaron el consumo energético del molino y que pudieron estar relacionadas con el estado mecánico del molino y los ajustes.

#### Bibliografía

1. Hugot, E. (1974). *Manual para ingenieros azucareros*. C. México: Ed. Continental, S. A. 3ra impresión.
2. Jenkins, G. (1971). *Introducción a la Tecnología del Azúcar de Caña*. La Habana: Ed. Ciencia y Técnica.
3. MINAZ. Colectivo de autores. (1996). *Manual de Operaciones. Planta Moledora*. La Habana: Imprenta del Ministerio del Azúcar.