



# Análisis del consumo de potencia en los molinos de un ingenio azucarero

## Analysis of the power consumption in the mills of a sugar mill

MACÍAS-Socarrás, Idalberto [1](#); LLANES-Cedeño, Edilberto Antonio [2](#); GASKIN-Espinosa, Benjamín [3](#) y Miguel Bolívar, ZAMBRANO-REYES [4](#)

Recibido: 20/11/2018 • Aprobado: 18/02/2019 • Publicado 08/04/2019

### Contenido

[1. Introducción](#)

[2. Metodología](#)

[3. Resultados](#)

[4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

#### RESUMEN:

En el trabajo se realiza una evaluación del consumo de potencia real respecto a la capacidad instalada en un Ingenio Azucarero. Se tomaron los valores diarios promediándolos semanalmente, se detectó que existe un exceso de consumo respecto a la capacidad instalada, proponiéndose medidas que permiten disminuir el consumo en los molinos y mejorar el balance energético de la fábrica. El estudio arrojó que es posible lograr una disminución de la potencia en 383.5 kW, ahorrándose \$ 62127 por concepto de compra de energía.

**Palabras clave:** Capacidad instalada, consumo de potencia, ingenio azucarero, balance energético.

#### ABSTRACT:

In this research, the real power consumption with respect to the installed capacity in a sugar factory is made. The daily values were taken by averaging them weekly, it was detected that there is an excess of consumption with respect to the installed capacity in the factory, proposing measures that allow to reduce the consumption in the mills and improve the energy balance. The study showed a decrease in power by 383.5 kW, saving \$ 62127 for the concept of energy purchase.

**Keywords:** Installed capacity, power consumption, sugar factory, energy balance

## 1. Introducción

Entre los retos fundamentales de la humanidad para las próximas décadas se encuentra la obtención, transportación y uso de portadores energéticos más eficientes y económicos; debido en lo fundamental al agotamiento de las reservas de combustibles fósiles, el de mayor porcentaje de los usados en el mundo en la actualidad. Por este motivo es muy importante la explotación eficiente de los recursos energéticos.

En 1993 el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministro de Cuba aprobó el Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía, elaborado con la decisiva participación de cientos de especialistas de todo el país, a partir de la experiencia acumulada a lo largo de años de trabajo coordinado por la Comisión Nacional de Energía, que presidió al Grupo de Organismos encargados de dicha elaboración. La Asamblea Nacional aprobó su contenido, acordando mantener periódicamente la comprobación de sus avances (Pérez, 2003; Díaz, 2012).

El Programa distinguió la Agroindustria Azucarera como la tercera fuente energética del país, destacándose su estrecha vinculación con la generación de electricidad a partir de la biomasa cañera empleada eficientemente (Llerena, 1995).

La punta de lanza de la producción azucarera cubana debe radicar en el aumento de su eficiencia y

en la diversificación de sus producciones, que son los dos elementos que pueden hacer competitiva a esta rama de la economía.

La disminución del costo por tonelada de caña molida tendrá que ser necesariamente conseguida a través de un aumento en la eficiencia mecánica del molino como equipo o a través de un mayor aprovechamiento de la capacidad de molida (Díaz, 2012).

Uno de sus aspectos principales plantea la selección de centrales azucareros por sus condiciones técnicas y eficiencia, con áreas de caña de las mejores tierras, propias o agregadas, para alcanzar mayores rendimientos y costos competitivos (Álvarez, Ramírez y Rosero, 2008)

En este contexto pudiera parecer que las investigaciones azucareras se hacen ya innecesarias en Cuba, pero, por el contrario, puede afirmarse que son absolutamente imprescindibles en estos momentos si no se desea que dentro de algún tiempo sea necesario cerrar todas las fábricas e importar azúcar (Ribas, Sabadi y Díaz, 2017)

Se hace necesario que las personas responsabilizadas con la molida estén dotadas de herramientas que les permitan prever los cambios que se produzcan, adaptarse a las nuevas condiciones y tomar iniciativas que hagan competitiva la industria.

Por otra parte, se está produciendo a nivel global una situación crítica con los combustibles convencionales. En los próximos 20 años la demanda mundial de energía se multiplicará por tres mientras disminuirá la contribución de los combustibles fósiles como fuente principal de producción eléctrica. Todos estos aspectos que se han planteado fundamentan la necesidad de las investigaciones en el campo del ahorro de energía en la molida de caña de azúcar (Ozkocak, Minyue y Goodwin, 2000; Britton, 2003).

Este trabajo pretende llamar la atención sobre la importancia del posible ahorro de energía sobre la base de un profundo análisis técnico económico en el área del tándem a fin de lograr el máximo aprovechamiento energético. El rendimiento de esta área puede ser decisivo, lograr una buena extracción con una demanda racional de potencia, decide definitivamente, la eficiencia de la fábrica de azúcar sobre todo si tenemos en cuenta que en un central típico de Cuba aproximadamente el 35 % de la energía eléctrica consumida, se emplea en accionar el tándem, por lo que, en la actualidad cuando la utilización de los centrales azucareros como fuente de generación de energía renovable, es una de las razones que pueden justificar la molida, al elevar su eficiencia se estará capacitando al ingenio para ser más rentable a través de la venta de electricidad, a la vez que se incrementa en valor agregado del azúcar y se diversifica la agroindustria. Por otra parte, sería una bondadosa contribución al medio ambiente tributar a la disminución de la quema de combustibles fósiles cuyo efecto está provocando aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera (Ribas, Sabadi y Díaz, 2017)

El área de preparación y molienda de los ingenios azucareros presenta equipos que han sido seleccionados y utilizados a lo largo de los años de acuerdo a las exigencias que se han ido planteando en cada central azucarero y esto da como resultado que se presenten muchas variantes en los arreglos de los accionamientos de los tándem de molinos con sus respectivas transmisiones ya sean mecánicas o hidráulicas. Cada uno de los diferentes tipos de accionamiento presentan variantes en el desarrollo de potencia y como ésta es transmitida hasta la parte que acciona los molinos.

Para la realización de esta investigación fue identificado en la industria, de que en el proceso de molienda se consume entre el 30 y el 50 % de la energía total del proceso, donde no existe una determinación real de cuánta potencia se necesita y cuáles son los parámetros que están influyendo, por lo que se pretende determinar el consumo real de potencia en los molinos del tándem para la propuesta de medidas del gasto energético en caso que sean elevados.

---

## **2. Metodología**

### **2.1. Caracterización del área de experimentación.**

El presente estudio fue realizado en la unidad empresarial de base central azucarero "Enidio Díaz Machado", perteneciente a la Empresa Azucarera Granma-Cuba, localizada en el municipio de Campechuela. La fábrica de azúcar tiene una norma potencial de 2760 t/día (240000@/día). La producción fundamental es el azúcar crudo y para ello se recibe la materia prima de corte manual y mecanizada a través de camiones. Además del azúcar crudo la unidad cuenta con una planta para producir Miel Urea Bagacillo para alimento animal

### **2.2. Equipos tecnológicos del área de molinos.**

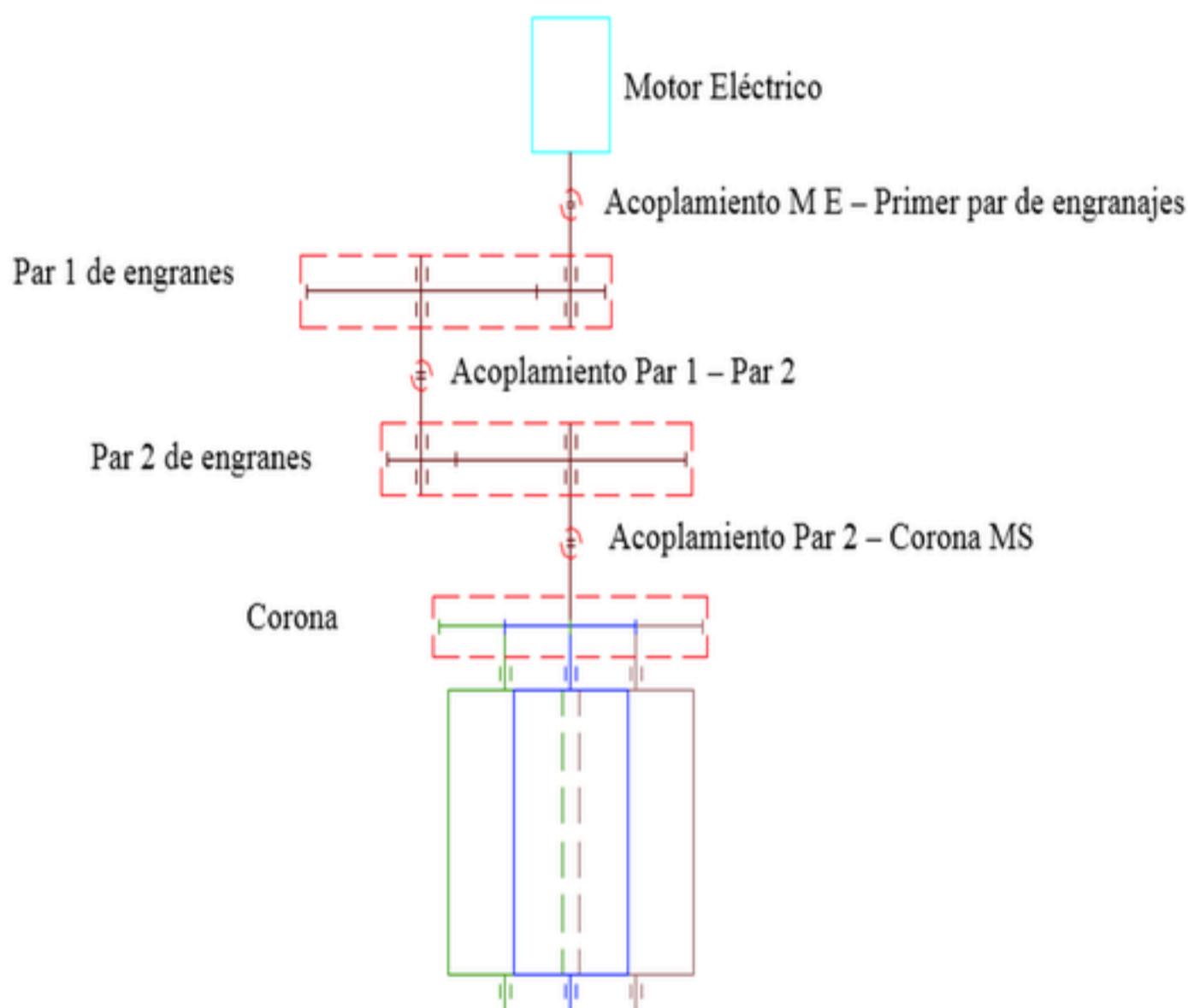
El área de molinos está compuesta por las siguientes partes:

- Molinos: son cinco, integrados cada uno por 2 bancazas, 2 vírgenes, 10 cojinetes y cuatro mazas (superior, cañera, bagacera y alimentador forzado), cada una de ellas mide 6.5 pies de largo y su diámetro varía en función del molino. Además, posee 4 guijos, 4 tapas laterales con sus soportes, una cuchilla central, 2 raspadores (superior y bagacero), 5 coronas (3 motrices y 2 alimentadoras) y dos tapas por su parte superior con un pistón hidráulico en su interior.
- Conductores intermedios: son cinco con sus respectivos motores y reductores.
- Sistema de bombeo de jugo de caña: compuesto por sus bombas, motores y tuberías.
- Colador Rotatorio: con su motor, reductor y tanque de recepción.
- Sistema de enfriamiento por agua: con su bomba, motor y pozo.
- Sistema de lubricación de aceite: con su tanque de recepción, motor, bomba y tuberías.
- Sistema de presión hidráulica: con su tanque, motor, bomba, tuberías y su pistón.
- Sistema de acoplamiento cúbico: con dos coupling y un cubo en cada acoplamiento.
- Tren de engranes módulo 30.
- Reductores Skoda: son dos (uno ZTC y otro ZTB) con varios pasos de reducción.
- Elementos motrices: compuesto por tres motores eléctricos (uno de 400 kW y 600 rpm y dos de 500 kW y 900 rpm).

Para llegar a un modelo general que permita evaluar este grupo de accionamientos la base es un tándem convencional con una desmenuzadora y 5 molinos con accionamiento eléctrico convencional, el cual se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

Esquema de acoplamiento entre elementos motrices y las mazas en el molino



Fuente: Elaboración propia

## 2.3. Evaluación y diagnóstico del tándem

Se evaluó y diagnosticó el tándem analizando el factor de grueso del colchón comparando los datos óptimos con los reales obtenidos para determinar que el tándem este subcargado. Se determinó el consumo de potencia según capacidad instalada haciendo análisis de los distintos parámetros como fueron: preparación de la caña, *setting*, razón de molido, velocidad tangencial de las masas, factor grueso del colchón. Para ellos se tomaron los datos diarios y se procesaron.

## 2.4. Variables analizadas

Las variables analizadas fueron: factor grueso del colchón (G), velocidad tangencial de las masas (V), presión hidráulica (T), potencia consumida (HP).

## 2.5. Cálculo de la potencia consumida en los molinos.

En el trabajo se analizaron un grupo importante de expresiones para el cálculo de potencia referidas por:

- Arzola (2003)
- Expresión deducida por la delegación del MINAZ (1963) en Camagüey-Cuba.
- Expresión aplicada por el Departamento técnico del MINAZ (1966) en la provincia de Oriente-Cuba.
- Expresión de Lehky citado por Farrell, Johnson y Edwards (1995).
- Fórmula citada por Kannapiran (2003), Rosero y Ramírez (2009), y Espinosa (2017).

Expresiones citada por Hugot (2014) para el cálculo de la potencia consumida en los molinos.

Tomándose para el cálculo la expresión citada Arzola (2003) y Pérez (2003), expresión que se emplea actualmente en la mayoría de los centrales azucareros de Cuba por su simplicidad y por haber brindado resultados muy satisfactorios (ecuación 1).

$$N = \frac{K.V^{1.219} .P^{0.918}}{71.888} \quad (1)$$

Donde:

N – Potencia en el equipo motriz, en HP.

K - Factor de corteza que depende del molino que se esté calculando.

P – Fuerza hidráulica total en toneladas cortas.

V - velocidad promedio de las mazas en pies/min.

En su conversión al SI se expresa como:

$$\left[ N = \frac{K.P^{0.675}}{96.33.V^{2.822}} \right] \quad (2)$$

Donde:

N – Potencia en el equipo motriz, en kW.

K - Factor de corteza que depende del molino que se esté calculando.

P - carga hidráulica total en kN.

V - velocidad promedio de las mazas en m/s.

## 2.6. Consideraciones sobre los diferentes factores para reducir el consumo de potencia de los molinos

### 2.6.1. Preparación de la caña

Aquí influye el factor de corteza C, que disminuye en función inversa al valor del índice de preparación. Es un factor decisivo para un menor consumo de potencia en los molinos y para una mayor capacidad de molida sin afectar la velocidad. Al preparar el trabajo para el primer molino, mejora la extracción del tándem, el cumplimiento del RPC y se paga un justo precio por la caña.

La potencia empleada en preparación se recupera en el resto del tándem, con la ventaja de que la rotura de celdas que se consigue se obtiene sin la concurrencia de todas las otras fuentes de consumo de potencia, recursos materiales y tiempo perdido propias de los molinos ([Hitchcox, 2009](#)).

### 2.6.2. Adecuados ajustes de los molinos

El consumo energético resulta muy influenciado por los ajustes entre las mazas y la cuchilla central, para comprimir debidamente el colchón que se recibe, pero facilitando el drenaje de jugo y evitando indebidas pérdidas por fricción. Debe considerarse lo siguiente: la abertura de trabajo de salida debe ser tal que, operando para la razón de molida requerida y con la presión hidráulica que corresponda a ese molino, haga que la maza superior flote entre 6 y 10 mm.

La relación entrada-salida dinámica del molino debe ser tal que facilite al máximo el drenaje de jugo, con una extracción relativa en la maza cañera de 60-70 %.

La separación correcta entre la maza superior y la cuchilla central evitara considerables pérdidas por fricción al deslizarse el bagazo sobre ella. Una indicación de esto se tiene por las zanjas que se observan en la superficie superior de la cuchilla una vez terminada la zafra (Bower, 1991).

### 2.6.3. Posición de las mazas en el molino

La maza superior del molino debe estar en línea con su correspondiente eje de salida del tren de engranes y situada en un nivel inferior (desnivel entre cuadrados) en una magnitud igual a la flotación normal que se espera en ese molino durante la operación.

A la hora de trazar el molino, debe asegurarse que su ángulo central (ángulo entre las líneas que unen los centros de las mazas superior-cañera y superior-bagacera) tenga el mínimo valor posible para evitar cuchillas muy anchas y para disminuir la acción de la resultante de las fuerzas del molino que empuja la chumacera superior contra las paredes de la quijada superior lado cañero de la virgen (West, 1997).

### 2.6.4. Razón de molida diaria (M)

Si el aumento de molida se hace sólo en base a modificaciones en los ajustes del tándem, sus variaciones tienen muy poca influencia en el consumo de potencia, permaneciendo constantes la preparación de la caña, el porcentaje de fibra, la velocidad del molino y la presión hidráulica aplicada.

Ante aumentos de la razón de molida de 25 %, se han obtenido incrementos de sólo 4-5 %, por lo que, desde el punto de vista de ahorro de energía, lo mejor es trabajar con el colchón de bagazo más grueso posible.

Si el incremento de la razón de molida se produce a costas de un aumento de la velocidad del molino, la potencia requerida aumentará, pero no por la mayor cantidad de caña a procesar, sino por la relación directa que existe entre el consumo de energía y la velocidad de operación.

Por este motivo son varias las expresiones para calcular el consumo de potencia que no considera la razón de molida.

### 2.6.5. Velocidad tangencial de las mazas (V)

Este parámetro es el que más incide en el consumo. Las pérdidas de potencia por fricción son función directa de ella, encontrándose presentes en todos los componentes del molino. (Cuchillas Centrales, Raspadoras, Cojinetes, Reductores, Engranes, Coronas, etc.)

### 2.6.6. Factor de grueso de colchón (G)

Es un parámetro unitario que indica el nivel de carga con que opera un molino. Permite establecer comparaciones entre distintos molinos. Se determina según la ecuación 3.

$$G = \frac{M * f}{24 * L * V} \quad (3)$$

donde

G = Factor de Grueso de Colchón, @ fibra-hr/pie<sup>2</sup> - min.

M = Razón de Molida, @/día

f = Contenido de fibra en la caña, por unidad

L = Largo de las Mazas, pie

V = Velocidad Tangencial de las Mazas, pie / min.

### 2.6.7. Factor de grueso del colchón óptimo (Go).

Elementos a considerar para determinar el factor de grueso del colchón óptimo:

- Equipos de Preparación de Caña
- Posibilidades de alimentación de los molinos.
- Número de unidades de molida.
- Largo de las mazas.
- Largo y diámetro de los collarines.

$$G_o = K * G_n \quad (4)$$

K = Factor que depende de los recursos de alimentación del tándem.

Valores de K.

K = 1.00 Si el tándem no tiene alimentadores forzados, o los que posee son ligeros, o no los tiene en todas las unidades de molida.

K = 1.20 Si hay 4ta. Maza con tambor prensado de hierro fundido en todas las unidades del tándem y aspereza por soldadura en las cuatro mazas de cada molino.

K = 1.40 Si hay tolvas de alimentación al menos en la primera unidad de molida, y todas las unidades tienen mazas alimentadoras prensadas y soldadura en las cuatro mazas.

K = 1.80 Si hay desfibradora extra-pesada además de todos los recursos del punto anterior.

G<sub>n</sub> = Factor de Grueso del Colchón dado por el Nomograma, donde se analizan todas las otras condiciones del tándem según la Tabla 1.

**Tabla 1**  
Factor de grueso de colchón según nomograma Gn

<b>Factor de Grueso del Colchón según Nomograma Gn</b>		
<b>No. Equivalente de Molinos: 5.50 - 5.75 - 6.50 - 6.75 - 7.50</b>		
Mazas de 6' - 0"	Mazas de 6' - 6"	Mazas de 7' - 0"
Collarines de 17" x 23" (Bancroft)		
5.9 - 6.1 - 6.7 - 7.0 - 7.3		
Collarines de 18" x 24" (Fulton)		
6.3 - 6.5 - 7.1 - 7.4 - 7.7	5.9 - 6.1 - 6.7 - 7.0 - 7.3	5.4 - 5.6 - 6.3 - 6.5 - 6.9
Collarines de 19" x 24" (Fulton)		
6.5 - 6.7 - 7.3 - 7.6 - 8.2	6.1 - 6.3 - 6.9 - 7.2 - 7.7	5.6 - 5.8 - 6.5 - 6.7 - 7.1
Collarines de 19" x 28" (Hamilton)		
	6.8 - 7.0 - 7.6 - 7.9 - 8.3	6.2 - 6.4 - 7.2 - 7.3 - 7.7
Collarines de 20" x 28" (Hamilton)		
	7.1 - 7.3 - 7.9 - 8.2 - 8.7	6.5 - 6.7 - 7.4 - 7.6 - 8.0
Collarines de 21 1/4" x 26 3/4" (Skoda)		
	7.2 - 7.4 - 8.0 - 8.3 - 8.8	6.6 - 6.8 - 7.5 - 7.7 - 8.1

Fuente: Elaboración propia

A diferencia de los valores de G que oscilan entre 6-7 utilizados hasta ahora en Cuba y recomendados por acreditadas firmas productoras de la época, con los recursos actuales de alimentación y *setting* adecuados ya se utilizan los G de 10-12 con plena confianza. Al analizar la fórmula se infiere la dependencia entre G, M y V. La premisa es tratar de no mantener en ningún caso factores de grueso de colchones inferiores a 10.

## 3. Resultados

### 3.1. Cálculo de la potencia consumida en los molinos.

Los datos obtenidos por las mediciones realizadas en la batería de molinos, generaron la potencia real consumida.

Aquí: HP = Potencia consumida, medida en los terminales de un motor eléctrico

V = Velocidad tangencial de las mazas, pie/min.

T = Toneladas totales de presión hidráulica aplicadas, ton cortas inglesas

C = Factor de corteza.

### 3.2 Diagnóstico de la capacidad con que está operando el tándem.

Estas determinaciones se realizaron comparando el factor de grueso del colchón real (Gr) con el factor de grueso del colchón óptimo (Go), los mismos se resumen en la Tabla 2.

**Tabla 2**  
Factor de grueso del colchón real

<b>MOLINOS No.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Razón de molida	TMD	2760	2760	2760	2760	2760
Razón de molida	@/día	240000	240000	240000	240000	240000
Fibra en caña		0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Largo de las mazas	pie	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
<b>Factor de grueso del colchón</b>	(@f/h)/ (pc/min)	<b>6.72</b>	<b>5.9</b>	<b>5.87</b>	<b>6.02</b>	<b>6.38</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Factor de grueso del colchón óptimo. Cálculo del factor del grueso de colchón óptimo.

Aplicándose la ecuación 4, se determina Factor de grueso del colchón óptimo.

$$G_o = K * G_n$$

$$G_o = 1.2 * 6.7$$

$$G_o = 8.04$$

Una vez que se determinan los datos y se procede al cálculo del factor de grueso del colchón real se utilizan los criterios siguientes para diagnosticar el tándem los cuales se muestran en la Tabla 3:

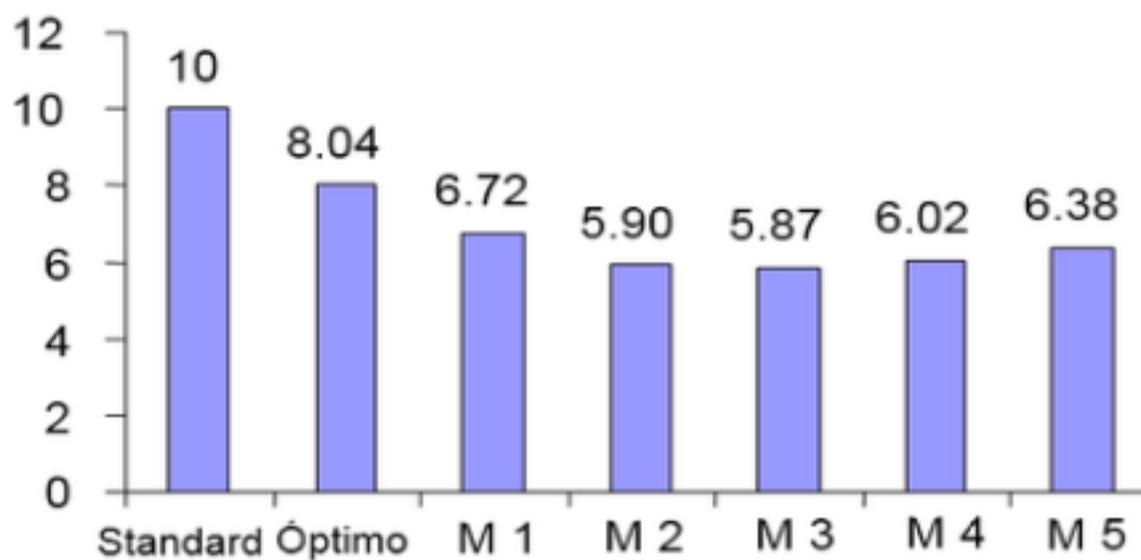
**Tabla 3**  
Interpretación del factor de grueso del colchón

<b>Valor de Go</b>	<b>Interpretación</b>
Si Gr es superior al 110 % de Go	Tándem sobrecargado. Puede disminuir la eficiencia y aumentar las roturas.
Si Gr = Go con desviación de ± 10 %	Tándem operando a plena capacidad.
Si Gr es inferior al 90 % de Go	Tándem subcargado. Puede mejorar la eficiencia pero está gastando recursos inútilmente.

Fuente: Elaboración propia

-----

**Figura 2**  
Comparación entre el factor grueso del colchón real con factor grueso del colchón óptimo

**Factor G**

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el factor grueso del colchón real está por debajo en más de un 20 % del factor grueso del colchón óptimo que es de 8.04, comparándolos con la tabla de diagnóstico da que el tándem está subcargado, coincidiendo con los resultados obtenidos por Benavides, et al. (2003), Rojas-Sola (2012) y con Ribas, Sabadi y Díaz (2017), lo que significa que está gastando recursos inútilmente. Si se compara con factor grueso del colchón que se está utilizando en distintas partes del mundo que es superior a 10 y en algunas ocasiones hasta de 12, el resultado obtenido está aún más lejano.

### 3.4. Cálculo de las nuevas velocidades de trabajo.

Las velocidades de trabajo de las mazas vinculadas al factor grueso del colchón real obtenido por las mediciones y el cálculo se muestran en la Tabla 4 y de forma gráfica en la Figura 3.

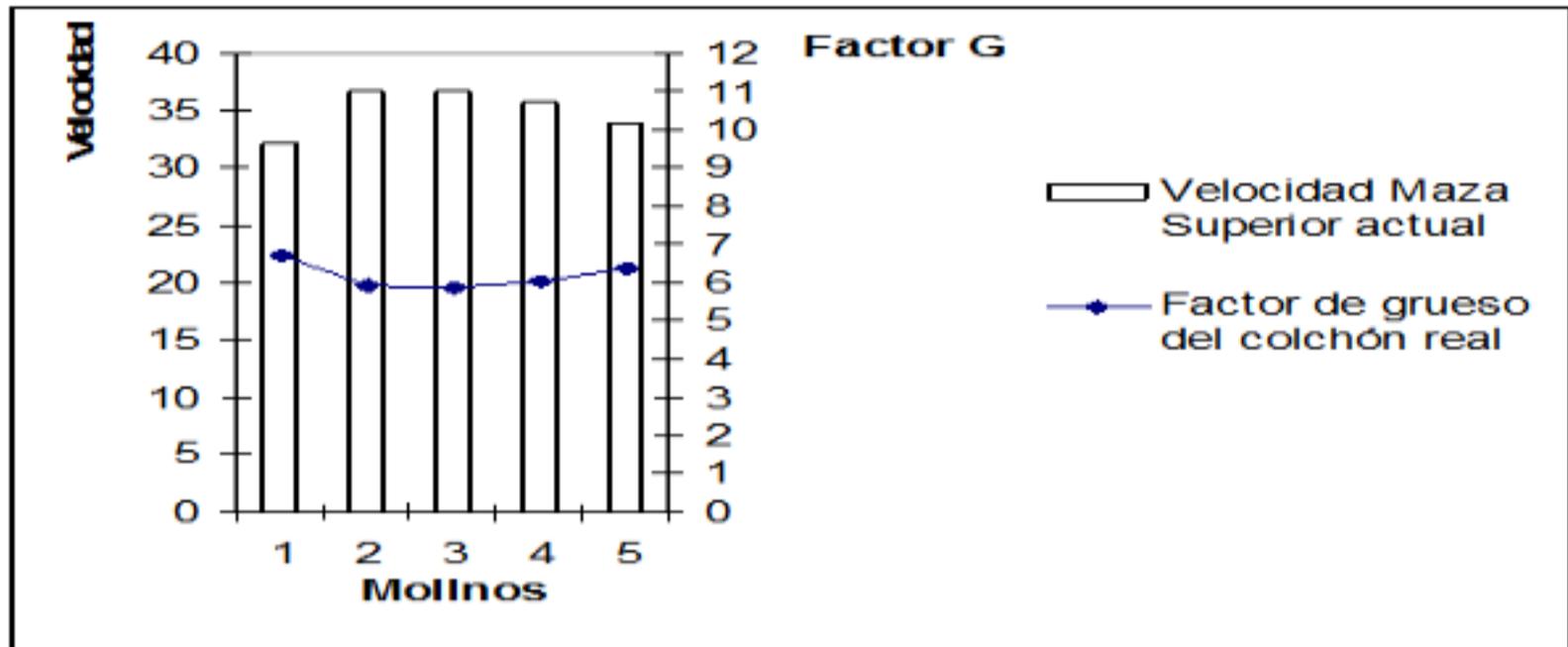
**Tabla 4**  
Velocidades de trabajo de las mazas vs factor grueso del colchón obtenido

<b>MOLINOS No.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>VELOCIDADES</b>						
RPM maza superior	RPM	3.3	3.62	3.65	3.56	3.36
Diámetro exterior maza superior	pulg	40.13	40	39.86	39.86	39.88
Profundidad rayado maza superior	pulg	3	1.5	1.5	1.5	1.5
Diámetro medio maza superior	pulg	37.125	38.5	38.375	38.375	38.375
<b>Velocidad Maza Superior</b>	pie/min	<b>32.03</b>	<b>36.53</b>	<b>36.69</b>	<b>35.77</b>	<b>33.78</b>
<b>FACTORES DE GRUESO DEL COLCHÓN</b>						
Razón de molida	TMD	2760	2760	2760	2760	2760
Razón de molida	@/día	240000	240000	240000	240000	240000
Fibra en caña		0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Largo de las mazas	pie	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
<b>Factor de grueso del colchón</b>	(@f/h) / (pc/min)	<b>6.72</b>	<b>5.90</b>	<b>5.87</b>	<b>6.02</b>	<b>6.38</b>

-----

**Figura 3**

Gráfico que muestra la relación entre el factor grueso del colchón real y la velocidad de los molinos actual



Es fácilmente apreciable que a las velocidades actuales de trabajo el factor grueso del colchón tiene valores no acordes a las tendencias actuales, coincidiendo estos bajos resultados con los alcanzados por parte de Cárdenas (2003). Teniendo en cuenta lo anterior se calcula una velocidad de trabajo que cumpla con este indicador de aprovechamiento del tándem, es decir para que el factor grueso del colchón alcance valores cercanos a 10.

En la Tabla 5 y Figura 4 se muestran los resultados obtenidos entre las velocidades de la maza y el grueso del colchón real.

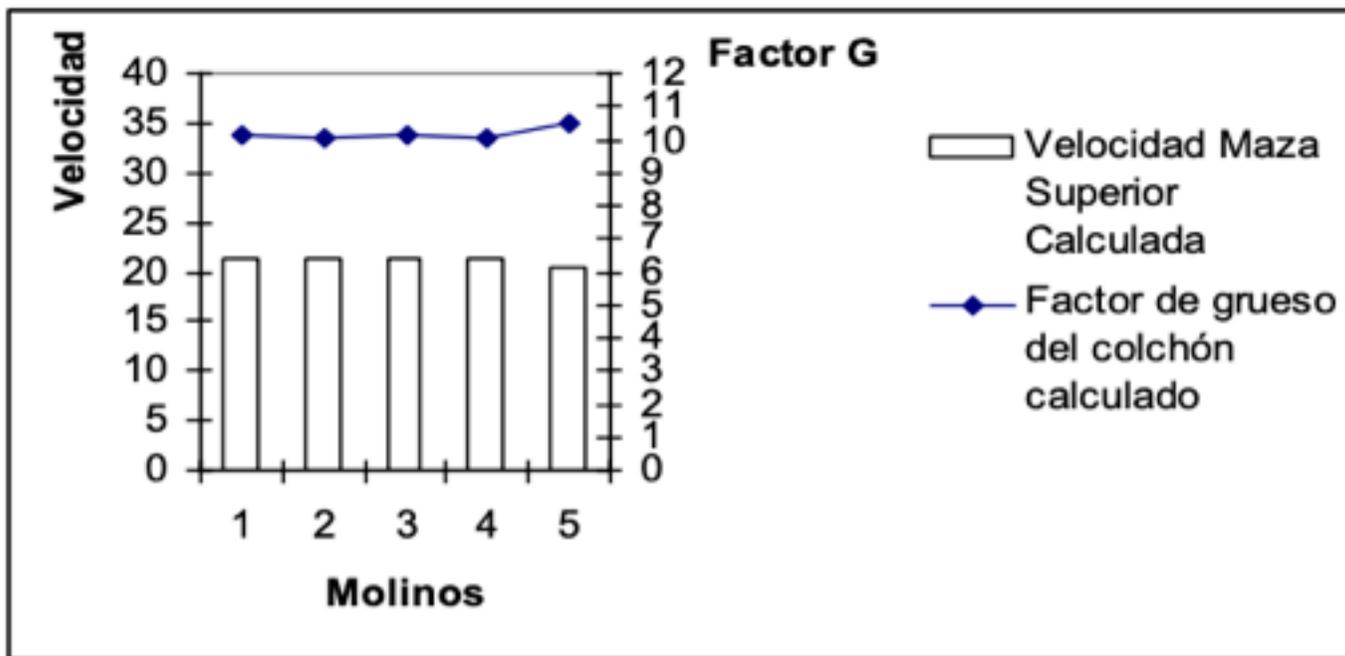
**Tabla 5**

Velocidades de trabajo de las mazas vs factor grueso del colchón real

<b>VELOCIDADES</b>						
<b>Molino No.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
RPM maza superior	rpm	2.19	2.12	2.12	2.13	2.04
Diámetro exterior maza superior	pulg	40.000	40.000	39.88	39.89	39.88
Profundidad rayado maza superior	pulg	3.00	1.50	1.50	1.50	1.50
Diámetro medio maza superior	pulg	37.125	38.500	38.375	38.375	38.375
<b>Velocidad Maza Superior</b>	pie/min	<b>21.41</b>	<b>21.38</b>	<b>21.31</b>	<b>21.43</b>	<b>20.52</b>
<b>FACTORES DE GRUESO DEL COLCHÓN</b>						
Razón de molida	TMD	2760	2760	2760	2760	2760
Razón de molida	'@/día	240000	240000	240000	240000	240000
Fibra en caña		0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Largo de las mazas	pie	6.5	6.50	6.50	6.50	6.50
<b>Factor de Grueso del Colchón</b>	(@f/h) / (pc/min)	<b>10.12</b>	<b>10.07</b>	<b>10.10</b>	<b>10.05</b>	<b>10.50</b>

-----  
**Figura 4**

Relación entre el Factor Grueso del Colchón y la velocidad calculada de los molinos



Fuente: Elaboración propia

Por los resultados obtenidos se puede observar que disminuyendo la velocidad de las mazas se logra un factor de grueso de colchón más cercano a lo que se necesita para trabajar con mayor eficiencia. En la Tabla 6 se muestra el consumo de potencia actual del molino.

**Tabla 6**

Velocidades de trabajo de las mazas vs factor grueso del colchón real

<b>CONSUMO DE ENERGIA EN LA PLANTA DE MOLER</b>						
<b>Molino No.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>MOTORES PRIMARIOS</b>						
Motores Eléctricos						
Potencia	kW	<b>400</b>	<b>500</b>		<b>500</b>	
Velocidad	RPM	<b>585</b>	<b>885</b>		<b>885</b>	
Voltaje	Volt	<b>6300</b>	<b>6300</b>		<b>6300</b>	
<b>REDUCTORES DE VELOCIDAD</b>						
Fabricante		Skoda	Skoda		Skoda	
Tipo		ZTC-710/1120	ZTB-630/1000		ZTB-630/1000	
Capacidad nominal	kW	662	515		515	
Velocidad nominal de entrada	RPM	900	900		900	
Velocidad real de entrada	RPM	585	885		885	
Capacidad real de reductores	kW	<b>430</b>	<b>506</b>		<b>506</b>	
Razón de reducción		30.00	12.85		12.85	

<b>TREN DE ENGRANES</b>						
No. de dientes piñón de alta		1	28	28	29	29
No. de dientes catalina de alta		1	132	132	132	132
No. de dientes piñón de baja		24	32	33	32	30
No. de dientes catalina de baja		<b>142</b>	<b>129</b>	<b>132</b>	<b>136</b>	<b>135</b>
<b>VELOCIDADES</b>						
Reducción total transmisión		177.50	244.21	242.31	248.58	263.20
RPM maza superior	RPM	3.30	3.62	3.65	3.56	3.36
Diámetro exterior maza Superior	Pulg	40.1250	40.0000	39.8750	39.8750	39.8750
Profundidad rayado maza Superior	Pulg	3.0000	1.5000	1.5000	1.5000	1.5000
Diámetro medio maza Superior	Pulg	37.1250	38.5000	38.3750	38.3750	38.3750
Velocidad maza superior	pie/min	32.03	36.53	36.69	35.77	33.78
<b>POTENCIA</b>						
Presión hidráulica total	ton corta	455	390	355	390	420
Presión hidráulica/pie de maza	ton corta/pie	70	60	55	60	65
Factor de corteza		1.5	1.15	1.00	1.00	1.00
Consumo por molino	kW	293	229	184	194	194
Consumo por motor	kW	293	413		388	
<b>CONSUMO TOTAL DEL TANDEM</b>	kW	<b>1095</b>				

Fuente: Elaboración propia

### **3.5. Determinación del consumo de potencia para las nuevas velocidades de trabajo.**

Teniendo en cuenta la fórmula utilizada para el cálculo del consumo de potencia anterior, se calculan las potencias demandadas para las nuevas velocidades de trabajo.

Se ha utilizado la ecuación 5:

$$HP = \frac{V^{1.219} T^{0.918}}{71.888} C \quad (5)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7, apreciándose que el mismo es alto teniendo en cuenta las reservas de energía existentes en la empresa azucarera. Los valores comparativos se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 7**  
Demanda de potencia

<b>Molino No.</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Presión hidráulica	ton corta	455	420	420	420	420
Presión hidráulica/pie de maza	ton corta/pie	70	65	65	65	65
Factor de corteza		1.5	1.15	1.15	1.0	1.0
Consumo por molino	kW	187.5	179	127	111	106
Consumo por motor	kW	187.5	307		217	
Potencia instalada	kW	400	500		320	
Aprovechamiento del motor	%	47	61.3		67.8	
Capacidad de los reductores	kW	380	340		340	
<b>CONSUMO TOTAL DEL TÁNDEM</b>	<b>kW</b>		<b>711.5</b>			

Fuente: Elaboración propia

-----

**Tabla 8**  
Comparación de las potencias obtenidas

Consumo total del tándem actual	kW	1095.0
Consumo total del tándem calculado	kW	711.5

Fuente: Elaboración propia

Con los cálculos realizados permite identificar que existe una reserva de energía de 690.3 MW/h, representando un ahorro importante si se tiene en cuenta los 90 días planificados para la zafra, partiendo de conocer que con las medidas tomadas los consumos del tándem calculado arrojan un ahorro de 383.5 kW, lo cual se expresa en la tabla 9.

**Tabla 9**  
Beneficio energético

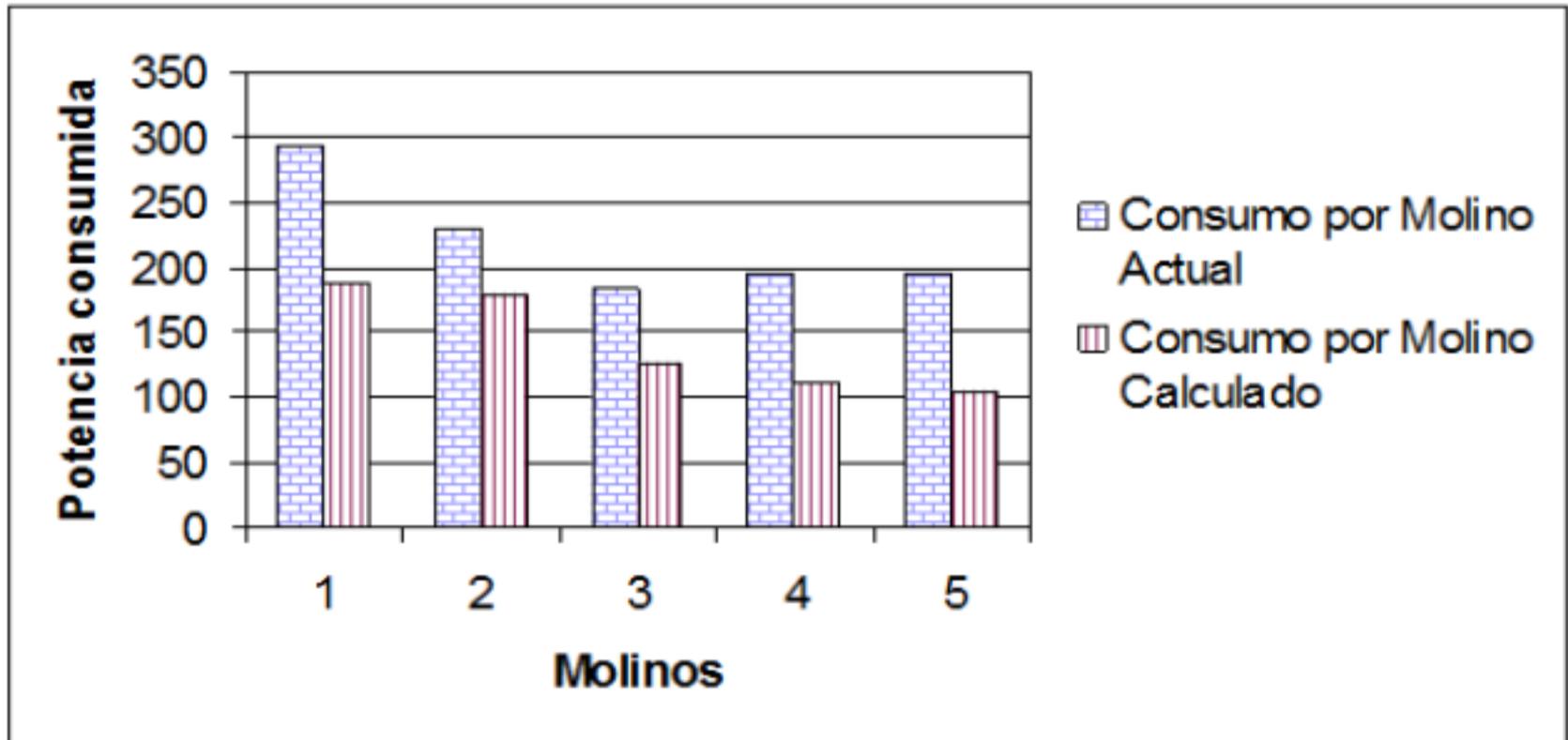
Disminución de la potencia	kW	383.5
Ahorro de energía en 20 horas de molida.	MW/h	7.67
Ahorro en 90 días a 20 h/día	MW/h	690.3

Fuente: Elaboración propia

Por los resultados obtenidos se puede observar que disminuyendo la velocidad de las mazas se logra disminuir el consumo de potencia en los molinos de manera apreciable, en la Figura 5, se aprecia como en cada uno de los 5 molinos que tiene el ingenio objeto de estudio las reservas de energía oscilan entre un 25 y un 35 %.

**Figura 5**

Comparación entre la potencia consumida actual y la potencia consumida calculada para las nuevas velocidades de trabajo.



Fuente: Elaboración propia

## 4. Conclusiones

La fórmula de Barreiro para el cálculo de la potencia consumida resulta adecuada por la sencillez de la misma y la facilidad para de forma práctica obtener los datos necesarios para calcular la potencia consumida.

El cálculo y evaluación del consumo de potencia de los molinos arrojó que los mismos trabajan subcargados provocando un sobreconsumo de potencia innecesario.

La reducción de las velocidades de trabajo de las mazas y por consiguiente el incremento del factor de grueso del colchón provocan una disminución apreciable del consumo de potencia, lográndose un ahorro de 383.5 kW, que significan 690.3 MW/h en una zafra de 90 días, y a su vez representado por un ahorro de \$ 62127 dejados de gastar por concepto de compra de energía.

## Referencias bibliográficas

ÁLVAREZ, J., y RAMÍREZ, Rosero. (2008). Modelado del tren de molinos de un ingenio azucarero. In: XIII Congreso Latinoamericano de Control Automático. Venezuela, Mérida.

ROSETO, E. E., & Ramírez, J. M. (2009). Modelado y control de molinos de caña de azúcar usando accionamientos eléctricos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 6(3), 32-43.

DE LA PEÑA, A. Nelson. (2003). "Esquema de Análisis y Aplicación de la Mecánica de la Fractura a la Falla por Fatiga de los Árboles de los Molinos de Caña de Azúcar" (Tesis Doctoral). Universidad de Cienfuegos: CEDON, 2003. 114p.

BENAVIDES Franco, J., ARISTIZABAL Grisales, F. I., CANO Castrillón, J. C., OCAMPO Gutmann, A. F., & ZAMORANO Batlle, J. C. (2003). Tablas de salvación para la industria azucarera colombiana. *Estudios Gerenciales*, 19(89), 95-113.

BOUVET, P. E. (1991). Cane-Based Power for Export: Overview and Hawaii Experience. In *International Conference on Energy from Sugar Cane, Hilo-Havaí*.

BRITTON, P. F. (2003). *Application of image measurement and continuum mechanics to measuring the large-strain kinematic behaviour of prepared sugar cane and bagasse* (Doctoral dissertation, James Cook University).

- CÁRDENAS Méndez, C. (2003). *Eficiencia tecnológica y energética en el tandem del CAI "Melanio Hernández"* (Tesis Doctoral, Univ. Central "Marta Abreu" de Las Villas). Cuba.
- CHOU Rodríguez, R. (2004). *Influencia de la hidraulización en el consumo de energía y en la resistencia a la fatiga de los árboles superiores de los molinos de caña de azúcar* (Tesis de Maestría en Ciencias, 2004. 135 p).
- DEER, N. (1949). *The history of sugar* (Vol. 1). Chapman and Hall. Vol 1. ISBN 978-1-5041-2281-8
- ESPINOSA, Juan. L. (2017). Estudio del potencial de cogeneración y trigeneración en el Ecuador síntesis de resultados - octubre 2017. Ministerio de electricidad y energía renovable.
- DÍAZ, A., & IGLESIAS, C. E. (2012). Bases teóricas para la fundamentación del proceso de extracción de jugo de caña de azúcar para la producción de panela. *Revista Ciencias técnicas agropecuarias*, 21(1), 53-57.
- FARRELL, R. M., JOHNSON, J., & EDWARDS, B. P. (1995). The control of independently driven pressure feeders on crushing mills. In *Procc. 15th Conf. Austral. Sugar Cane Techn* (pp. 27-34).
- HITCHCOX, Alan. (2009). Fully automated tandem drive system conserves energy and achieves maximum product yield. Hydraulic and pneumatic. Disponible en: [https://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/PneumaticValves/Article/False/83976/TechZone-PneumaticValves]. Consultado: [8 de julio de 2018].
- HUGOT, E. (2014). *Handbook of cane sugar engineering*. Elsevier. 3th edition, Elsevier. DOI <https://doi.org/10.1016/C2013-0-12437-3>
- KANNAPIRAN, A. (2003). *Computational and experimental modelling of the crushing of prepared sugar cane* (Doctoral dissertation, James Cook University).
- KEENAN, J. H., KEYES, F. G., HILL, P. G., & MOORE, J. G. (1978). *Steam tables: thermodynamic properties of water including vapor, liquid, and solid phases* (Vol. 24). Hoboken, NJ: John Wiley, pp. 2-154.
- LLERENA, González. N. (1995). Manual de operaciones para la producción de azúcar crudo de caña, Dirección de Tecnología del Ministerio del azúcar. Habana, Cuba.
- MACÍAS Socarrás, I., MEJÍAS Brito, J., & OCHOA Casal, R. (2009). Valoración energética de algunos accionamientos de un ingenio azucarero de la provincia Granma, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2).
- MUHAMMAD, K. (2015). Modelling sugarcane supply consistency at a sugar mill. *Computers and Electronics in Agriculture*, 111, 107-111. Doi. [10.1016/j.compag.2014.12.019](https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.019)
- OZKOCAK, T., Fu, M., & Goodwin, G. C. (2000). Maceration control of a sugar cane crushing mill. In *American Control Conference, 2000. Proceedings of the 2000* (Vol. 4, pp. 2255-2259). IEEE.
- PÉREZ Castellano, E. (2003). *Análisis de la correlación entre el consumo de potencia de un Molino de caña de azúcar y las variables operativas del mismo* (Tesis Doctoral).
- RIBAS, Mauricio; SABADI, Raúl y DÍAZ, Arnaldo. (2017). Metodología para el análisis integral de la etapa de molienda de caña. XIV Congreso Internacional de Azúcar y Derivados de la Caña (Diversificación 2017). La Habana, Cuba.
- ROJAS-SOLA, J. I., & UREÑA Marín, J. R. (2012). Las máquinas de vapor en la obtención del azúcar de caña en España: análisis comparativo. *DYNA*; Vol. 79, núm. 171 (2012); 183-190; Vol. 79, núm. 171 (2012); 183-190 2346-2183 0012-7353.
- ROSETO, E. E., & RAMÍREZ, J. M. (2009). Modelado y control de molinos de caña de azúcar usando accionamientos eléctricos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 6(3), 32-43.
- SANTIESTEBAN Velázquez, A., NÁPOLES González, J. O., & SILVA Becheran, J. M. (2015). Propuestas de mejoras energéticas en el área del tandem de un ingenio azucarero de la provincia Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1), 14-21.
- SHIELD, Andres. G; CANT, Claude. (1999). Hydraulic drives for cane mills. *Procc. 17th Conf. Australian Sugar Cane Techn*. p. 332 – 338.
- WEST, M. (1997). *Modelling and control of a sugar cane crushing mill* (Doctoral dissertation, University of Newcastle). Australia.

---

1. PhD. Ciencias Técnicas, Docente Investigador, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Avenida principal La Libertad-Santa Elena, La Libertad, Santa Elena. Ecuador. Ingeniero Mecanizador Agropecuario. Correo electrónico de contacto: [imacias@upse.edu.ec](mailto:imacias@upse.edu.ec)

2. PhD. Ciencias Técnicas, Docente-Investigador, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK – Quito.

Ingeniero Mecánico Automotriz. [antonio.llanes@uisek.edu.ec](mailto:antonio.llanes@uisek.edu.ec)

3. PhD. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Granma, Carretera Bayamo-Manzanillo, km 17 ½, Peralejo, Bayamo, Granma, Cuba. Correo electrónico de contacto: [bgaskine@udg.co.cu](mailto:bgaskine@udg.co.cu)

4. Mg.A. en Alimentos, Docente-Investigador, Facultad de Ingeniería Agropecuaria, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Correo electrónico de contacto: [ing.zambranomiguel@hotmail.com](mailto:ing.zambranomiguel@hotmail.com)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 40 (Nº 11) Año 2019

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]