

# **DETERMINACIÓN DEL GRADO DE MOVILIDAD DE UN MOLINO DE CAÑA. DETERMINATION OF THE GRADE OF MOBILITY OF A SUGAR CANE MILL.**

**Autores:**

**Dr. Andrés Espinosa Acevedo, Categoría Docente: PA, Email: [andresea@uclv.edu.cu](mailto:andresea@uclv.edu.cu)**

**Dirección particular: reparto Van Troi, Bloque 25, apartamento 3, Caibarién, Villa Clara.**

**Dr. Jorge L. Moya Rodríguez**

**Dr. Feliberto Fernández Castañeda.**

**Dr. Eusebio Pérez Castellanos**

**RESUMEN.**

En este trabajo se hace un análisis del principio de funcionamiento de un molino de caña, desde el punto de vista de la Teoría de Mecanismos, determinándose el grado de movilidad y las características de este mecanismo como paso previo al desarrollo de un modelo matemático posterior que permita realizar el análisis cinemático y dinámico del molino de caña, así como la evaluación de la influencia de las diferentes variables en el funcionamiento eficiente de esta máquina.

Palabras clave: Molinos, caña, cinemática, dinámica, eficiencia.

**ABSTRACT.**

In this work an analysis of the principle of operation of a cane mill from the view point of the theory of mechanisms is made. The grade of mobility and the characteristics of this mechanism was made, as previous step to the development of a later mathematical model that allows to carry out the cinematic and dynamic analysis of the cane mill, as well as the evaluation of the influence of the different variables in the efficient operation of this equipment.

Key Words: Mills, cane, Kinematics, Dynamics, efficiency.

## INTRODUCCIÓN.

El molino de caña es un mecanismo muy antiguo, se tiene constancia que en Sicilia en 1449 se instalaron los primeros molinos. En 1871 Rousselot diseñó el modelo de molinos que ha constituido la base de los molinos actuales. Este mecanismo ha transitado a través de la historia de la industria azucarera, adquiriendo transformaciones empíricas hasta convertirse en el modelo actual, sin que la ciencia que estudia el comportamiento de los mecanismos y las máquinas se halla detenido sobre él, debido fundamentalmente a la aparente sencillez de su funcionamiento, las bajas velocidades de operación, sus grandes dimensiones; y otros factores no técnicos. El molino cañero surgió mucho antes que se desarrollaran las teorías que rigen el funcionamiento de los mecanismos y las máquinas, lo cual explica algunas de las razones de por qué dichas teorías no se le hayan aplicado en forma consecuente hasta el presente. A modo de ejemplo, para argumentar lo anterior se debe destacar lo siguiente:

- Los modelos matemáticos reportados en la literatura especializada [7, 8, 9] no se corresponden exactamente con el funcionamiento real de esta máquina.
- No mantener la maza superior en posición horizontal para diferentes alturas de colchón de bagazo se considera una deficiencia de esta máquina [7].
- Se comprobó que existen alrededor de 22 expresiones para el cálculo del consumo de potencia de un molino de caña y ninguna se corresponde exactamente con las mediciones realizadas en los molinos en funcionamiento, la influencia de las diferentes variables en el consumo de potencia no se conoce en todos los casos con exactitud.
- Es conocido que algunos elementos de los molinos de caña (como por ejemplo los árboles o guijos) fallan con frecuencia de forma impredecible [6].

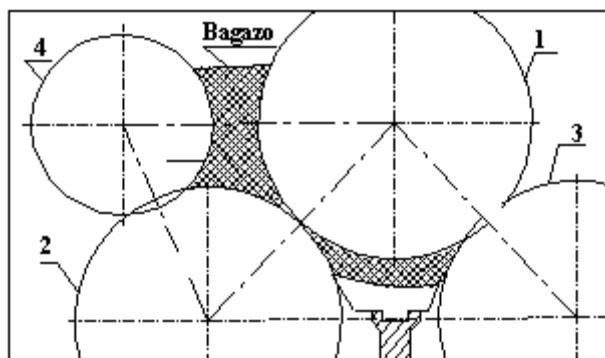
Considerando lo anterior, en el presente trabajo se profundiza en el análisis de este mecanismo, determinándose el grado de movilidad del mismo. Siendo el objetivo del mismo aplicar las teorías que definen el funcionamiento eficiente de los mecanismos y las máquinas al molino de caña. y

sentar las bases para la superación de las deficiencias planteadas anteriormente.

## DESARROLLO.

En el funcionamiento de un mecanismo, sus elementos móviles ocupan posiciones definidas para cada instante. Para determinar las posiciones de los mismos es necesario conocer o definir las posiciones de algunos de estos, denominadas coordenadas generalizadas. Por lo cual las coordenadas generalizadas son cada uno de los parámetros independientes que unívocamente determinan la posición de los elementos móviles respecto al soporte, este concepto es conocido en la mayoría de las bibliografías consultas como grado de movilidad.

El molino de caña más generalizado en el país se representa en la figura 1.



*Figura. 1. Molino de caña de cuatro mazas.*

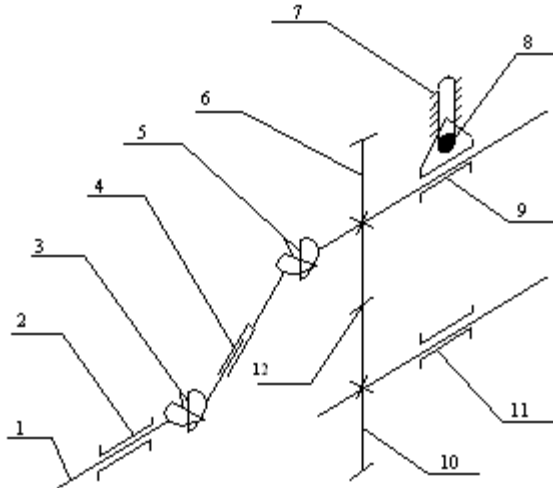
### Donde:

- 1= Maza superior.
- 2= Maza cañera.
- 3= Maza bagacera.
- 4= Maza alimentadora

Principio de funcionamiento del molino de caña con maza alimentadora.

El bagazo cae entre la maza superior y alimentadora, pasando por las tres aberturas que existen entre las mazas, donde ocurre la extracción del jugo. La maza superior es la motriz transmitiendo el torque a las restantes mediante las coronas. Cuando el colchón de bagazo aumenta su espesor, la maza superior se desplaza hacia arriba, inclinándose un determinado ángulo con respecto a la posición horizontal de su eje geométrico y los engranajes aumentan su distancia

entre centros. La presión hidráulica que actúa en los cilindros de la maza superior equilibra la reacción del bagazo al ser comprimido, la cual se fija para la compresión de bagazo deseada. La complicación del mecanismo es generada por la movilidad de la maza superior, que al inclinarse convierte al mecanismo en un mecanismo espacial. Teniendo esto en cuenta y con el fin de hacer el análisis más sencillo se escogió para la determinación del grado de movilidad un molino de dos mazas y se representó el esquema cinemático del mecanismo equivalente (figura 2).



**Figura. 2. Esquema cinemático del molino de caña.**

**Donde:**

- 1- Árbol motriz del molino
- 2 y 11- Cojinetes de deslizamiento, pares cinemáticos de un movimiento ( $2p_1$ ).
- 3 y 5- Crucetas del cardán, pares cinemáticos de un movimiento ( $4p_1$ ).
- 4- Acoplamiento telescópico del cardan, par cinemático de un movimiento ( $1p_1$ ).
- 6- Corona y árbol de la maza superior.
- 7- Ranura vertical que permite el desplazamiento del pasador 8 en el plano vertical y el giro del cojinete 9 con el árbol 6 en el plano vertical, par cinemático de dos movimientos ( $1p_2$ ).
- 9- Cojinete de la maza superior, que permite la rotación del árbol 6, par cinemático de un movimiento ( $1p_1$ ).
- 10- Corona y árbol de la maza inferior.
- 12- Unión de las coronas, par cinemático de cinco movimientos ( $1p_5$ ).

**Donde:**

- W- Grado de movilidad del mecanismo.
- n- Número de elementos móviles del mecanismo
- $p_5$ - Número de pares cinemáticos de cinco movimientos.
- $p_4$ - Número de pares cinemáticos de cuatro movimientos.
- $p_3$ - Número de pares cinemáticos de tres movimientos.
- $p_2$ - Número de pares cinemáticos de dos movimientos.
- $p_1$ - Número de pares cinemáticos de un movimiento.

Sustituyendo en la expresión (1) se obtiene:

$$W = 6(8) - 5(8) - 4(1) - 1$$

$$W = 3$$

Del resultado alcanzado se aprecia que para el funcionamiento de este mecanismo es necesaria la instalación de tres fuentes motrices, una para rotar los árboles alrededor de sus ejes geométricos, otra para desplazar la maza superior verticalmente y la tercera para hacer girar el árbol de la maza superior en el plano vertical. En el molino la fuente

El mecanismo representado anteriormente tiene 8 elementos móviles. A partir de la expresión de A. P. Malyshev [1], para determinar el grado de movilidad de un mecanismo espacial se tiene:

$$W = 6n - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5 \quad (1)$$

motriz encargada de hacer girar el árbol de la maza superior es sustituida por una fuente motriz de traslación, que actúa en la maza superior, a determinada distancia de la otra fuente motriz de traslación, provocando el giro de la misma en el plano vertical.

Estas fuentes motrices de traslación no son otra cosa que las presiones hidráulicas, que actúan en cada cabezote. Si se tiene en cuenta que a la entrada del molino se sitúa un acoplamiento que absorbe las desalineaciones producto de la flotación de la maza superior y de montaje, el cual engendra reacciones en dependencia de la flotación [2,11], se puede apreciar que la presión hidráulica tiene que adoptar un valor específico en cada chumacera y para cada posición de la maza superior para poder garantizar que se mantenga la maza superior en posición horizontal.

No mantener la maza superior horizontal, para cualquier posición de la misma ha sido una deficiencia del molino, muchos autores consideran que esto ocurre producto de las reacciones que se generan en las coronas y para solucionarla se han propuesto las siguientes variantes:

- Pistones de diferentes diámetros en cada cabezote.
- Diseño de molinos de coronas alternas.
- Diseño de molinos de doble asiento de coronas.
- Caja de engranajes a la salida de la transmisión.
- Motores independientes en cada maza.

En muchos casos se ha presentado la característica de que el problema se ha resuelto aparentemente con una de estas variantes en un molino en particular y en otro molino no. Es necesario tener en cuenta que la inclinación de la maza superior ocurre en un triángulo, formado por un cateto cuyo máximo valor es de media pulgada aproximadamente (flotación) y el otro es el largo de la maza, por ejemplo 5 pies, como puede apreciarse el ángulo que puede inclinarse la maza superior es muy pequeño, pero representa un movimiento incontrolable del mecanismo, donde no es posible determinar la posición exacta de uno de sus elementos para un determinado instante. Debe destacarse que la maza se inclina debido a tres factores fundamentales.

1-Reacciones generadas por las coronas.

2-Desigualdad de espesor en la sección transversal de colchón de bagazo.

3-Reacciones que genera el acoplamiento en dependencia de la altura del colchón aunque la sección transversal del mismo sea constante.

Del análisis realizado anteriormente se aprecia que la única forma de mantener la maza superior en posición horizontal para cualquier espesor de colchón de bagazo, es determinando las presiones hidráulicas que se requieren para cada espesor de colchón de bagazo y suministrárselas al molino de forma automática en cada cabezote.

## **CONCLUSIONES.**

·El molino de caña constituye un mecanismo de clase tres, una fuente motriz de rotación y dos de traslación, las cuales determinan el equilibrio del mecanismo, para un espesor de colchón de bagazo en particular.

·El mecanismo del molino cañero no cumple exactamente con los requerimientos para los cuales fue diseñado, ya que al desplazarse la maza superior hacia arriba, siendo la presión hidráulica constante, la maza superior se inclina determinado ángulo producto de las reacciones generadas por el acoplamiento, aún cuando las presiones hidráulicas fueran determinadas por las condiciones de equilibrio, lo cual no se ha realizado hasta el momento. Convirtiéndose el mecanismo en un mecanismo espacial.

·Es preciso determinar un modelo matemático que permita calcular el valor de las cargas (torque y fuerza) necesarias para equilibrar el molino y determinar la influencia de cada una de las variables implicadas en el funcionamiento eficiente del molino de caña.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Baránov, G.G. Curso de la teoría de mecanismos y máquinas. Moscú. Editorial MIR, 1985. – 524p.
2. Campos Pérez, Y. Estudio sobre el diseño de los acoplamientos para los molinos. Tesis de

maestría. 1997 – 70p.

3. Casey, J. A. The pressure fed Lotus cane mill. *International Sugar Journal*. Vol. 88. No. 1053. Septiembre 1986.

4. Currier, J. E. Evolución de las Técnicas de Molienda. *International Sugar Journal*. Vol. 99. No. 1186S. Octubre. 1997.

5. Espinosa, O.A. Hydraulic pressure in mills. *International Sugar Journal*. Mayo 1967. pág. 14S.

6. Fernández Levy, Gilda S. Investigación sobre el origen y desarrollo de la falla en árboles de molinos de centrales azucareros. Tesis de disertación para optar por el grado de Doctor en Ciencias. . UCLV, 1982 – 114p.

7. Hugot, E. *Handbook of Sugar Engineering*. Elsevier Science Publishers. Amsterdam. 1986.

8. Jenkins, G. H. *Introducción a la Tecnología de Azúcar de Caña*. Editorial de Ciencia y Técnica. La Habana. 1971.

9. Murry C. R. and Holt J. E. *The mechanics of crushing sugar cane*. Edición Revolucionaria I. C. L. La Habana. 1971.

10. Okamura H, Tanaka H y Terau H. "Square box couplings in cane mill drives". *I. S. J.* Nov. 1972.

11. Ruiz Fleites, H. Estudio de la geometría de la superficie de trabajo de las mazas de los molinos de caña. Tesis de disertación para optar por el grado de Doctor en Ciencias – UCLV, 1989. – 187p.