**SIMPOSIO INTERNACIONAL INDUSTRIA Y ENERGIA**

**Título**

**Determinación de los flujos de jugo mezclado en tándem de molinos de caña.**

***Title***

***Determination of the mixed juice flows in the tandem of cane mills.***

**Isaac Pedroso Mantilla1, Ricardo Alfonso Blanco2, Sergio Jauregui Rigó3, Blanca Rosa Cruz Cal4, Lester Alvarez Treto5.**

1- Isaac Pedroso Mantilla. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. Email: isaacpm@uclv.edu.cu

2- Ricardo Alfonso Blanco. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. Email: ralfonso@uclv.edu.cu

3- Sergio Jauregui Rigó. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. E-mail: jaureguisl@uclv.edu.cu

4- Blanca Rosa Cruz Cal. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. Email: blancacc@uclv.edu.cu

5- Lester Alvarez Treto. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Cuba. E-mail: lester960620@gmail.com

**Resumen:**

En este trabajo se desarrollan las ecuaciones matemáticas que permiten determinar en el Tándem de Molinos de caña, por medio de un balance de masa de los materiales manipulados, los flujos de jugo mezclado a manipular por las bombas intupibles en la imbibición compuesta (maceración) del Tándem.

La metodología utilizada se aplicó al CAI Héctor Rodríguez. Este central azucarero tiene instalado el sistema moderno que utiliza bombas intupibles para el sistema de imbibición compuesta. Fueron tomados los datos históricos de fibra en caña, agua de imbibición, fibra en bagazo a la salida de cada molino y norma de molida del central azucarero. Con el auxilio de sistema Excel se procesaron los datos anteriores, los cuales fueron obtenidos del laboratorio den central azucarero.

Los cálculos realizados de los flujos de jugo a manipular por las bombas incrementados en un 10%, son inferiores a los flujos de diseño de las bombas instaladas para la imbibición compuesta de los Molinos 5, 4 y 3. Como ejemplo refiero que el cálculo del flujo para la bomba de imbibición compuesta del molino 3 dio 347 gpm y la bomba instalada tiene como flujo de diseño 900 gpm, por lo que la misma está sobredimensionada. Lo anterior hace que la bomba trabaje estrangulada a casi 2.59 veces su capacidad nominal de trabajo, lo que represente un consumo extra de electricidad.

***Abstract:***

*In this work, the mathematical equations are developed that allow determining in the Cane Mills Tandem, by means of a mass balance of the materials handled, the mixed juice flows to be handled by the intupible pumps in the compound imbibition (maceration) of the Tandem.*

*The methodology used was applied to the CAI Héctor Rodríguez. This sugar mill has installed the modern system that uses intupible pumps for the composite imbibition system. The historical data of fiber in sugarcane, imbibition water, fiber in bagasse at the exit of each mill and grinding standard of the sugar mill were taken. With the help of the Excel system, the previous data were processed, which were obtained from the central sugar laboratory.*

*The calculations made of the juice flows to be handled by the pumps increased by 10%, are lower than the design flows of the pumps installed for the composite imbibition of Mills 5, 4 and 3. As an example I refer that the calculation of the Flow for the compound imbibition pump of mill 3 gave 347 gpm and the installed pump has a design flow of 900 gpm, so it is oversized. This makes the pump work throttled at almost 2.59 times its nominal working capacity, which represents an extra consumption of electricity.*

Palabras Clave: Imbibición., Maceración., Bombas Intupibles., Fibra., Flujo.

***Keywords:*** *Imbibition., Maceration*., *Intupible Pumps., Fiber., Flow.*

**1. Introducción**

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.

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.

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 conseguido a través de un aumento en la eficiencia mecánica del molino como equipo a través de un mayor aprovechamiento de la capacidad de molida.

En las condiciones actuales en las que se encuentra Cuba, se impone la necesidad de un mayor aprovechamiento del potencial científico-técnico y concentrar los esfuerzos en las direcciones principales del desarrollo económico, así como fortalecer los vínculos entre la docencia, la investigación y la producción azucarera. La industria azucarera cubana está comprometida a incrementar su eficiencia técnica económica, lo que implica un aumento del recobrado, del rendimiento industrial y la disminución del costo de producción. Este trabajo ha sido encaminado a la manipulación del jugo en el tándem más rentable y eficiente por medio de bombas intupibles; usado en los países más desarrollados y principales productores de azúcar de caña a nivel mundial como es el caso de Brasil, Australia y Sudáfrica.

Objetivos.

1. Realizar un balance de masa en un Tándem de Molinos de caña con el fin de determinar los flujos de jugo mezclado a manipular por las bombas intupibles.

2. Aplicar el método de balance de masa al Támdem de Molinos del CAI Héctor Rodríguez para comprobar la selección de las bombas instaladas.

**2. Metodología**

Imbibición Compuesta. Desarrollo de las expresiones para determinar el jugo mezclado con agua que es extraído en cada molino.

Para una correcta comprensión de este trabajo, se definen los siguientes parámetros que son medidos en el laboratorio del central azucarero.

$$f=\frac{m\_{f} \left(masa de fibra\right)}{C \left(masa de caña\right)}, fibra en caña \left(fracción unitaria\right),\left(1\right)$$

$$m\_{n}=\frac{m\_{f }\left(masa de fibra\right)}{b\_{n}\left(masa de bagazo\right)}, fibra en bagazo\left(fracción unitaria\right), por molino $$

$$\# n, (2)$$

$$j\_{n}, masa de jugo extraida (fracción unitaria) por el molino \# n$$

$$W=\frac{m\_{agua}(masa de agua)}{C (masa de caña)},agua de imbibición\left(fracción unitaria\right), (3) $$

Considérese una masa unitaria (1) de caña que pasa por los molinos. Se tendrá:

$$1\*f=b\_{1}\*m\_{1}=b\_{2}\*m\_{2}=…=b\_{n}\*m\_{n}$$

Se considera que los productos anteriores se mantienen constante mediante el paso del flujo de caña molida a través de todo el tándem.

En la figura 1 se ha representado el esquema de una batería de molinos o Tándem de 5 molinos y una desmenuzadora, en ese tándem se adicionará agua a la salida del penúltimo molino y en jugo mezclado extraído por un molino se añadirá al molino precedente con el objetivo de disminuir el porciento de sacarosa en el colchón de bagazo. Como se observa en la figura la última adición de jugo mezclado será a la salida del primer molino, por lo que el jugo a extraer por el primer molino se determina de la misma manera que en la extracción en la presión seca.



Figura 1. Imbibición compuesta (tomado de Alvares, L. 2020).

2.1 Desarrollo de las expresiones para determinar el jugo mezclado con agua que es extraído en cada molino.

Análisis de masa y materiales a través del tándem.

Primer Molino y la Desmenuzadora.

Figura 2. Desmenuzadora y primer molino (tomado de Alvares, L. 2020).

Haciendo un balance de masa en la Figura 2 se obtiene la siguiente ecuación:

$$j\_{1}=1-\frac{f}{m\_{1}}, ^{masa de jugo extraído}/\_{unidad de masa de caña} (4)$$

Para los restantes casos también es masa de jugo extraído/unidad de masa de caña.

Quinto o último Molino.

Para simplificar nuestro análisis comencemos analizando del último molino hacia los molinos precedentes, recuerde que a este molino se le añade agua pura, al jugo extraído por el molino le llamaremos jugo mezclado (Jn, donde n es el número del molino)

Aislando el quinto molino (ver Figura 3) y haciendo un balance de masa en éste, considerando una masa unitaria (1) de caña de azúcar, se obtienen las siguientes ecuaciones.



Figura 3. Balance de masa en el Quinto Molino (tomado de Alvares, L. 2020).

$$W+\frac{f}{m\_{4}}=j\_{5m}+\frac{f}{m\_{5}}$$

$$j\_{5m}=\left(\frac{f}{m\_{4}}-\frac{f}{m\_{5}}\right)+W, ^{masa jugo mezclado}/\_{unida masa de caña} (8)$$

Para determinar las ecuaciones de los restantes molinos se procede de manera similar. El resultado final de todas las ecuaciones está plasmado en la Tabla 1.

Resumen de las ecuaciones Tabla 1 (elaboración propia).

|  |  |
| --- | --- |
| Unidad Motriz | $j\_{nm} , $Masa de jugo mezclado extraído/unidad de caña molida |
| 1er Molino | $$j\_{1m}=1-\frac{f}{m\_{1}}, (4)$$ |
| 2do Molino | $$j\_{2m}=\left(\frac{f}{m\_{1}}-\frac{f}{m\_{5}}\right)+W, (5)$$ |
| 3er Molino | $$j\_{3m}=\left(\frac{f}{m\_{2}}-\frac{f}{m\_{5}}\right)+W, (6)$$ |
| 4to Molino | $$j\_{4m}=\left(\frac{f}{m\_{3}}-\frac{f}{m\_{5}}\right)+W, (7)$$ |
| 5to Molino | $$j\_{5m}=\left(\frac{f}{m\_{4}}-\frac{f}{m\_{5}}\right)+W, (8)$$ |

Extracción del jugo: La extracción de jugo se lleva a cabo en la planta moledora, para ello es necesario sumar al alto grado de preparación obtenido la aplicación de la maceración combinada y presiones hidráulicas.

El tándem se integra de forma genérica con 4 a 6 unidades de molida En la Industria Azucarera Cubana se han generalizado los alimentadores forzados de 4ta maza, y la tolva Donnelly en busca de una mayor eficiencia en la operación del tándem.

En la planta moledora se produce el fenómeno de la extracción de Pol, por la aplicación del principio de flujo a contracorriente a partir de utilizar el jugo más diluido para macerar la fibra rica. La fuerza motriz del proceso es la diferencia en la concentración de azúcar entre las celdas rotas y el jugo de maceración.

La acción se combina con la aplicación de altas presiones en los molinos de forma tal que se logre un alto grado de extracción.

La temperatura de la maceración e imbibición cataliza la extracción por concepto de incrementar la solubilidad del azúcar y además de ello mantiene protegido al tándem contra el desarrollo de microorganismos.

La desmenuzadora tiene que realizar el 60 % de la extracción, el 40 % restante en las subsiguientes unidades de molida.

**3. Resultados y discusión**

Determinación de los flujos de jugo mezclado a transportar por las bombas intupibles (inatascables) del CAI Héctor Rodríguez.

La metodología desarrollada anteriormente se aplicó al CAI Héctor Rodríguez con el objetivo de comprobar la selección de las bombas intupibles instaladas en el tándem. Esta metodología es aplicable a todo el tándem que utilice el sistema de imbibición moderno.

En el CAI Héctor Rodríguez se tomaron los datos promedio de 5 decenas de la zafra 2 017 para realizar los cálculos, los datos tomados están contenidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos promedio de 5 Decenas de la Zafra 2017 (elaboración propia).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Molino (n) | Fibra en bagazo del molino$$m\_{n}=\frac{masa de fibra}{masa de bagazo}$$ | Fibra en caña$$f=\frac{masa de fibra}{masa de caña}$$ | Agua de imbibición$$W=\frac{(masa de agua)}{(masa de caña)}$$ |
| 1 | 0.2320 | 0.1589 | 0.2932 |
| 2 | 0.2890 |
| 3 | 0.3601 |
| 4 | 0.4102 |
| 5 | 0.4574 |

Con los datos suministrados por la Tabla 2. Se realizan los cálculos de las siguientes magnitudes:

- Mediante las expresiones de cálculo de la Tabla 1 se determinan las fracciones unitarias de jugo extraído por cada molino (jnm). El jugo extraído para la capacidad o norma de molida del CAI, en el caso de Héctor Rodríguez es C=191.67 Ton. Caña/hora, se determina para cada molino por la expresión general:

$$JM\_{n}=j\_{nm}\*C, jugo mezclado extraído por cada molino ^{Ton}/\_{h}, (9)$$

n, represente el # del molino.

$$b\_{n}=\frac{f\*C}{m\_{n}}, flujo de bafazo \left(^{ Ton bagazo}/\_{hora}\right), (10)$$

$$m\_{agua}=W\*C, flujo de agua imbibición \left(^{Ton agua}/\_{hora}\right), \left(11\right)$$

Estos resultados están en la Tabla 3.

- Para la norma potencial de molida del tándem se aplican las siguientes expresiones para determinar: agua de imbibición aplicada, masa de bagazo manipulada por cada molino, jugo mezclado manipulado por las bombas de imbibición.

Para el CAI Héctor Rodríguez:

Norma Potencial de molida, valores promedio de 4 decenas, C=191.67 Ton. Caña/hora

Tabla 3. Flujos másicos de los materiales (elaboración propia).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Molino(n) | jnmmasa jujo/masa caña | bn (masa bagazo)t/h | JMn, jugo extrai.t/h | agua, imbibic.t/h |
| 1 | 0.3152 | 131.261 | 60.409 | 56.1976 |
| 2 | 0.6307 | 105.372 | 120.881 |
| 3 | 0.4956 | 84.567 | 94.992 |
| 4 | 0.3871 | 74.238 | 74.187 |
| 5 | 0.3332 | 66.577 | 63.858 |

Las bombas intupibles son las que manipulan el jugo mezclado extraído en los molinos 5, 4 y 3, por lo que el análisis debe centrarse en esos molinos. Como los flujos que se tienen son de masa, estos serán convertidos a flujos volumétricos o gasto (Q), dividiéndolos por la densidad del jugo que se tomará como $ρ\_{jugo}=1.04 ^{kg}/\_{dm^{3}}$ . En la Tabla 4 se dan los flujos (Q) convertido a l/min y gpm.

Tabla 4. Flujos de jugo de imbibición manipulados por las Bombas Intupibles (elaboración propia).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Molino(n) | Q (l/min) | Q (gpm) | 1.1\*Q (gpm) | Bomba InstaladaQ (gpm) |
| 3 | 1522.312 | 402.196 | 442.416 | 900 |
| 4 | 1188.895 | 314.107 | 345.518 | 900 |
| 5 | 1023.372 | 270.376 | 297.413 | 900 |

La bomba instalada en el Tándem es la BSA-200-12 que girando el impelente a 880 rpm su un flujo de diseño es de 900 gpm, muy superior al mayor flujo necesario con la capacidad de molida del Tándem incrementada en un 10 %.

**4. Conclusiones**

- La metodología utilizada para la determinación de los flujos de agua de imbibición a manipular por las bombas intupibles en el támden de molinos, es precisa y aplicable a diferentes tipos de tándem de molinos.

- Es imprescindible auxiliarse de los datos históricos de fibra en caña, fibra en bagazo, agua de imbibición, brix del jugo, humedad en el bagazo, pol en bagazo, recobrado, caña molida, etc. obtenidos en el laboratprio del central.

- El trabajo demostró que las bombas intupibles instaladas estaban sobredimensionadas en flujo, que el mayor flujo lo manipula la bomba instalada en el molino 3, ese flujo incrementado un 10% equivale a 442.16 gpm, la bomba instalada tiene una capacidad diseño de 900 gpm, por lo que trabaja estrangulada en más de dos veces su capacidad. Lo anterior representa un gasto considerable de energía eléctrica y una disminución de la eficiencia de la fábrica.

- AZCUBA comercializa también la bomba intupible BSC-200-30, esta bomba girando el impelente a 1150 rpm su flujo de diseño es de 600 gpm. Si se instala esta bomba se reduce la estrangulación y por tanto el consumo de energía.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Alvarez, L. Propuesta del sistema de manipulación del jugo y bagacillo para el tándem de centrales azucareros cubanos. Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. 2020.

2. Cárdenas, M. C. Eficiencia tecnológica y energética en el tándem del CAI “Melanio Hernández (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. 2003.

3. Criollo, R., Zambonino G. Análisis de alternativas para el tratamiento de aguas industriales del Ingenio Azucarero del Norte IANCEM. 2013.

4. Hugot, E. Manual para Ingenieros Azucareros. Editorial Pueblo y Educación, primera reimpresión. Cuba. 1980.

5. López, K. Evaluación de pérdidas de sacarosa en el tándem de Molinos del área de extracción del área de extracción del Ingenio Monte Rosa zafra 2011–2012. Trabajo de diploma. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua. 2013.

6. Nodarse, C., EEC, U.H. Cuba: Importancia actual del incremento de las exportaciones. Cuba. 2002.

<https://www.nodo50.org/cubasigloXXI/economia/marquetti4_300603.pdf>

7. Socarrás, M., Llanes, E., Gaskin, B., Zambrano, M. Análisis del consumo de potencia en los molinos de un ingenio azucarero. Revista Espacios, Vol. 40, Nº 11, Pág. 6. ISSN 0798 1015. Venezuela. 2019.