



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOVIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

DEPARTAMENTO DE MAD

## TRABAJO DE DIPLOMA

*Título: "Análisis del proyecto de propuesta de modificación del área del Tandem de la Planta Piloto "José Martí".*

*Autor: Ramón Hernández Alba.*

*Tutor: Dr. Ing. Eusebio Pérez Castellanos*

*Curso 2006-2007*

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA





## **RESUMEN.**

El presente trabajo trata sobre una propuesta de modificación en el tandem de molinos de la Planta Piloto “José Martí” de la Universidad Central de las Villas. El mismo consiste en la sustitución de las dos desmenuzadoras por un molino desmenuzador y la instalación de una tolva Donnelly para alimentar dicho molino con un conductor alimentador de banda. Esta modificación se propone a partir del análisis del proyecto propuesta de modificación del área del Tandem de la Planta Piloto que desarrolló el ICINAZ a propuesta de la dirección planta. Con esta modificación que se propone la planta poseerá una configuración en el tandem que se acerca a las empleadas actualmente en Cuba y en muchas partes del mundo, con lo que se debe lograr que las investigaciones que se realizarán en la planta sean más confiables. En este trabajo se realiza un análisis sobre la alimentación de los molinos y los factores que tienen mayor influencia sobre este proceso, se incluye el desarrollo del proceso de alimentación desde el punto de vista histórico y de sus características técnicas. Se lleva a cabo una panorámica sobre el análisis del transportador de banda que se debe instalar conjuntamente con el molino desmenuzador. También se realizan los análisis de capacidad de molienda y de consumo de potencia, este último apoyándonos en un programa montado en Excel confeccionado en la tesis doctoral del compañero Eusebio Pérez Castellanos. Finalmente se desarrolla un análisis económico de la propuesta.

**ABSTRACT**

The present work is about a proposal modification in the tandem of mills of the Pilot Plant "José Martí" located in The Central University of Las Villas. The same one consists on the substitution of two crumbles for a mill crumble and the installation of the mill-hoper Donnelly to nourish this mill, with a band conductor. This modification intends starting from the analysis of the Project of modification in the area of the Tandem to the Pilot Plant elaborated in the ICINAZ. With this modification, the plant will possess similar configuration in the tandem area to the existent in Cuba, with what should achieves that the investigations are but representative. In order to carry out we realized a analysis about the feeding of the mills and the factors that have bigger influence on this process. The development of the feeding process it is included from the historical point of view and of their technical characteristics. They are also carried out the analyses of capacity of having milled and of consumption of power, this last one leaning on in a program mounted in Excel made in the partner's doctoral thesis of Eusebio Pérez Castellano. Finally was carried out an economic analysis of the proposal.

**Índice**

INTRODUCCION	1
<b>Capitulo I. Estado del arte sobre la Planta Piloto “José Martí” y los sistemas de alimentación de los molinos</b>	<b>4</b>
1.1-Breve reseña histórica sobre la Planta Piloto “ José Martí ”.	4
1.2- Sistemas de Alimentación de los molinos.	6
1.2.1- Alimentación del molino por gravedad	10
1.3- Análisis de los transportadores de banda.	11
1.4- El Consumo de Potencia en molinos de caña.	11
1.4.1- Factores que Intervienen en el Consumo de Potencia.	12
1.4.2- La Compresión del Bagazo.	14
1.4.3- Fricción entre las Mazas y las Cuchillas Centrales.	16
1.4.4- Fricción entre las Chumaceras y los Collarines de los Guijos, y Contacto entre los Engranajes y las Coronas.	17
1.4.5- Fricción entre la Cuchilla Central, el Bagazo, las Mazas y los Raspadores.	19
1.4.6- Efecto del Torque en el Consumo de Potencia.	20
1.4.7- Otros Factores que Influyen en el Consumo de Potencia.	22
1.4.7.1- Aumento del Diámetro de las Mazas.	22
1.4.7.2- Aumento en los Pasos de Rayados.	22
1.4.7.3- Asperezas Globulares y Transversales.	24
1.5- Tolvas Donnelly.	24
Conclusiones Parciales	25
<b>Capitulo II. Análisis de estudios anteriores y diagnostico del transportador de banda</b>	<b>26</b>
2.1- Análisis del Proyecto elaborado por el ICINAZ	26
2.2- Análisis de la tesis de grado	28
2.3- Datos técnicos del molino desmenuzador.	28
2.4- Diagnóstico del Transportador de Banda	29
2.4.1- Tarea técnica	30
2.4.2- Cálculo de evaluación del transportador	30

Conclusiones Parciales	38
<b>Capítulo III. Cálculo de la capacidad y potencia del Tandem.</b>	<b>39</b>
3.1- Antecedentes	39
3.2- Esquema de la Instalación Actual y Propuesta de Modificación.	39
3.3- Resultados del Trabajo.	39
3.3.1- Cálculo de Capacidad.	39
3.3.2- Cálculo de Potencia .	42
3.4- Hojas de Cálculos para las Dos Variantes	44
3.4.1-Tabla para los datos del caso con dos desmenuzadoras y tres molinos	44
3.4.2-Tabla para los datos del caso con el molino desmenuzador y los tres molinos.	46
3.5- Fundamentación Económica.	50
Conclusiones Parciales	53
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>54</b>
<b>RECOMENDACIONES.</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS.</b>	

## **INTRODUCCIÓN:**

### **Antecedentes:**

La Planta Piloto " José Martí " fue creada en el año 1964 con el objetivo fundamental de desarrollar investigaciones sobre la agroindustria azucarera cubana. En esta se han desarrollado varios proyectos investigativos como son la producción de Azúcar Orgánica y las pruebas realizadas a Variedades de Caña, entre otros.

Con este fin y teniendo en cuenta que la industria azucarera ha ido revolucionando tanto a nivel internacional como nacional, se ha creado la necesidad de realizar algunos cambios en la planta. Ejemplo de esto es el clarificador el cual se le disminuyó el tamaño. Con la premisa de que los resultados obtenidos en los proyectos realizados sean más representativos con los de un central azucarero se justifica necesidad de realizar cambios en el área del Tandem específicamente.

El Tandem de la Planta Piloto José Martí " cuenta en este momento de tres molinos y dos desmenuzadoras, con dos juegos de cuchillas de corte ancho como equipos preparadores el cual pudiera considerarse como una composición típica de la época de su creación. El material del cual están construidas actualmente las mazas de los molinos de la Planta Piloto son de acero, esto hace que el agarre del colchón de caña sea menor que en las masas de hierro fundido pero posibilita la utilización de asperezas por soldadura, que es otra de las modificaciones introducidas en la molida, ya que el acero admite un rango más amplio de utilización de electrodos que el hierro fundido. Otra variante que está presente en el funcionamiento de los Tandems actuales es la sustitución de las desmenuzadoras por molinos desmenuzadores con Tolva Donelly.

La variante expresada en el párrafo anterior se ha venido estudiando para su aplicación en la planta, ya que con ello se cumpliría la premisa anteriormente expuesta. Para este montaje en la Planta Piloto se han realizados algunos trabajos, principalmente la Tesis de grado de Leonel Polo y el proyecto elaborado por el ICINAZ.

El presente trabajo se refiere a los dos trabajos anteriores y se ha trazado la tarea de dar una correcta propuesta de modificación del Tandem de la Planta Piloto, la cual consiste en la revisión de ambos trabajos con vistas a corregir algunas

deficiencias que se presentaron en los mismos y completar la información requerida para un adecuado montaje del sistema propuesto.

Tras el análisis del proyecto de modificación del área del Tandem se plantea la siguiente propuesta como modificación de esta área. Montar el molino desmenuzador con su Tolva Donelly y el transportador de banda procedente del central en desarme del 26 de julio en la base donde se encuentran las dos desmenuzadoras buscando una altura en la cual se produzca la alimentación del primer molino por gravedad, así como realizándoles el análisis de capacidad y potencia del tandem.

**Problema:**

Es necesario revisar los trabajos realizados con anterioridad sobre la propuesta de modificación del tandem de la Planta Piloto “José Martí” y completar la información necesaria para posibilitar dicha modificación.

Hipótesis:

Es posible realizar una propuesta adecuada para realizar el montaje de un molino desmenuzador con una Tolva Donelly y un transportador de banda que lo alimente, así como que permita aumentar la capacidad de molienda y disminuir el consumo de potencia en el área del Tandem de la Planta Piloto “José Martí”.

Objetivo General:

Realizar una modificación en el área del Tandem en la cuál se logre el montaje de un molino desmenuzador con Tolva Donelly y un transportador de banda en el área del Tandem de la Planta Piloto.

Objetivos específicos:

- Analizar los trabajos desarrollados anteriormente sobre la temática.
- Proponer las modificaciones definitivas y completar la información desarrollada en dichos trabajos. .
- Realizar los cálculos pertinentes del transportador a instalar.

- Realizar los cálculos de capacidad y potencia de la propuesta.
- Análisis económico de la propuesta.

Justificación:

La necesidad de este trabajo se justifica, ya que como se mencionó anteriormente es de vital importancia que la Planta Piloto José Martí arroje resultados muy similares a los de un central azucarero. Con este fin es que se necesita la modificación del área del Tandem con la instalación de un molino desmenuzador con tolva donelly.

Vialidad:

Es totalmente viable ya que posee un valor práctico y metodológico, con el mismo contribuye con la formación de ingenieros mecánicos, lo que sería de gran ayuda para el país ya que los resultados arrojados en las investigaciones que se realizan en la Planta Piloto serían más fiables, o sea mucho más representativos en comparación con los de un central azucarero.

Marco Teórico:

Para llevar a cabo este trabajo se realiza el estudio detallado de los dos trabajos ya mencionados, de los cuales se toman los criterios en que se apoyaron, se reflejan las omisiones que tuvieron y se llega a una propuesta de modificación del área del tandem donde se relacionan y perfeccionan ambos. Se analizan las características del transportador de banda a instalar, realizándose los cálculos pertinentes.

Las consecuencias que pueden derivarse de este trabajo son, en primer lugar llegar a obtener una propuesta más viable para la implementación de un molino desmenuzador con tolva Donelly que sustituya las dos desmenuzadoras existentes en la planta y utilizar un transportador de banda que permita una mejor alimentación del mismo.

## **CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE SOBRE LA PLANTA PILOTO JOSÉ MARTÍ Y LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE LOS MOLINOS.**

### **1.1- Breve reseña histórica sobre la Planta Piloto " José Martí ".**

En un país socialista de economía planificada los fines de la universidad están estrechamente ligados a las necesidades e intereses de la nación, a corto y largo plazo.

A partir del año 1959 al tomar el poder el Gobierno Revolucionario se inicia en la Universidad Central una nueva etapa al servicio de los genuinos intereses del pueblo, ya que con dicho triunfo se plantea como necesidad imperiosa la elevación del nivel educacional y técnico, hechos que constituyen una base para el desarrollo científico del país.

Es hacia la Industria Azucarera que se encaminan los esfuerzos, por ser la base interna necesaria para el desarrollo sistemático, dada nuestra gran dependencia del comercio exterior en el cual el azúcar en aquel entonces tuvo un peso preponderante.

Es por esto que se orienta la Universidad hacia la formación de técnicos para el desarrollo de esta rama de nuestra economía, tanto en el aspecto agrícola como industrial.

La revolución técnica plantea una serie de cuestiones, que han de resolverse, la investigación y experimentación, es por ello que en el año 1960 un grupo de profesores y alumnos de las escuelas de ingeniería idearon el montaje de una pequeña planta azucarera, con el fin tanto docente como investigativo, la cual sería instalada cerca de la Facultad de Tecnología.

Los primeros equipos adquiridos en diciembre de ese mismo año correspondían al central Elvira situado en la zona próxima a Yaguajay, los cuales constituían el Dpto. de molinos, conductores de caña y casa de calderas.

El departamento de molinos se constituía por:

Tanden compuesto de desmenuzadora y 2 trapiches de 14x8 pulgadas marca Squier, conductor intermedio, metálica movida por un motor horizontal, rastrillo para el colador de guarapo, con su bomba.

Conductor de caña:

Esteras de tablillas y cadenas Lamber, cuchillas desintegradoras de alta velocidad con su motor. El alimentador y conductor son controlados por un motor vertical. Luego de esto prosiguieron adquiriéndose más equipos. Así se inició el camino de montaje de la planta, que a pesar de las dificultades por la falta de materiales y equipos a causa del bloqueo, por el esfuerzo de obreros con gran experiencia en la Industria Azucarera dirigidos por los técnicos de nuestra Universidad, construyendo equipos, sustituyendo otros, fueron capaces de edificar no solo la Primera Planta Experimental Azucarera (y la única) en nuestro país, sino una más de las pocas existentes en el mundo.

Esta planta se puso en marcha con el doble propósito de conocer y estudiar el funcionamiento de los equipos, así como adiestrar a los trabajadores de la planta en la operación de los mismos, ya que todos los equipos eran de instalación nueva y de medidas pequeñas, lo que suponía presentar problemas de índole diversos e imprevistos. Por lo que la planta comienza a moler el 28 de enero de 1965 y teniendo en cuenta esta fecha histórica para nuestro pueblo es que toma el nombre de "Planta piloto José Martí", Martínez [1].

Teniendo en cuenta que la industria azucarera fue el principal renglón económico de nuestro país desde el principio de la Revolución hasta que cayó el precio del azúcar en el mercado mundial, y observando que en estos momentos ha vuelto a elevarse este precio, más nuevas investigaciones en nuestros centrales que han tomado auge, como por ejemplo, la producción de alcohol y el aprovechamiento de la energía renovable a partir del bagazo de caña. Es de vital importancia poder realizar pruebas a nivel piloto para no malgastar medios y que los gastos económicos sean los menores posibles.

---

Por esto es que en este momento la Planta Piloto José Martí juega un papel esencial para el MINAZ y el país.

### **1.2- Sistemas de Alimentación de los molinos:**

La Alimentación Natural o Autoalimentación, fue una de las primeras variantes utilizadas en la molienda. Este simple sistema se basó en el aprovechamiento de la fricción entre la maza y el colchón para lograr la alimentación. En aquellos tiempos las mazas de los molinos eran lisas, producto de esta situación, los ingenieros de la época no podían utilizar las mazas de acero ya que al pulirse no podrían alimentarse. Se introdujeron las mazas de Hofo (Hierro Fundido), producto de la granulometría de este material. Actualmente las mazas de la planta son de acero y en la misma se utiliza la aspereza por soldadura lo que posibilita un mayor agarre entre la maza y el colchón.

Tromp[2] destacó la importancia de la autoalimentación y estableció matemáticamente las condiciones necesarias para que la misma se produjera. Esta puede considerarse una publicación de mucha importancia en el desarrollo futuro de los procesos de alimentación en los molinos de caña de azúcar.

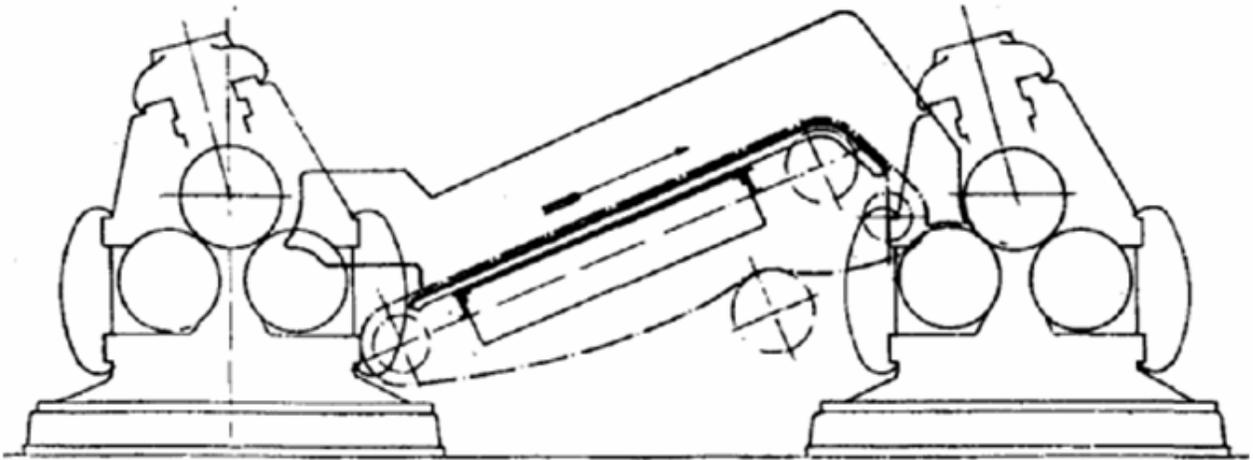
Poco tiempo después, se introdujo en este mundo de la alimentación natural, el rayado de las mazas. Esta inventiva se fue modificando poco a poco con el tiempo. El primer rayado utilizado fue el rayado circular, y después la ranura en V o Chevrón, este último ha sido utilizado en los centrales hasta hoy en día.

Con el tiempo y las necesidades de aumentar la capacidad de molienda, se crearon los llamados Alimentadores Forzados. Dentro de estos alimentadores se encuentran principalmente:

- Los Conductores Intermedios de Tablillas (Fig.1).
- Los Rodillos Alimentadores “Por Peso”.
- Los Rodillos Alimentadores Progresivos “Bartolo”.
- Las Cuartas Mazas.

- Las Tolvas Donnelly

Siendo los conductores intermedios de tablillas los utilizados en la Planta Piloto.

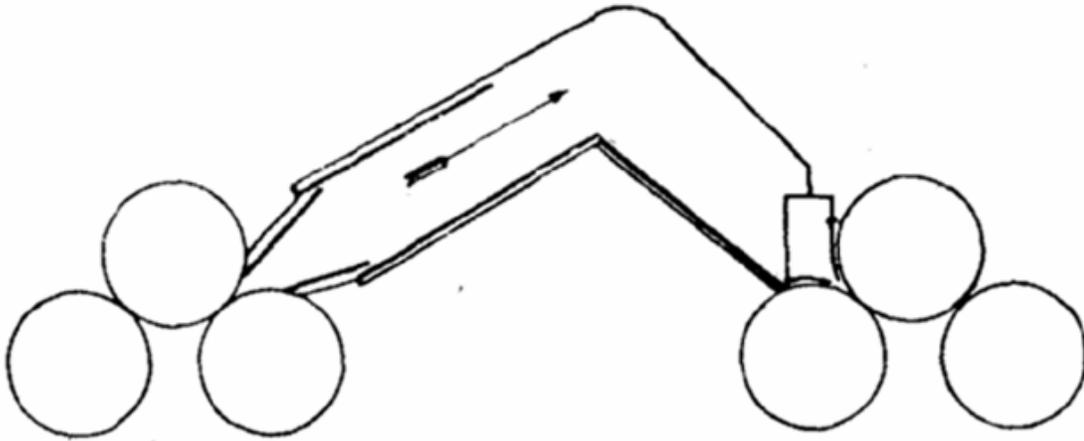


**Fig. 1-** Conductor Intermedio de Tablillas.

Después de la aparición de los sistemas de alimentación por peso, en los años 70 se introducen Las Asperezas Transversales. Esto posibilita la utilización de las mazas de acero en los molinos e introduce mejoras ya que el acero es mucho mejor en condiciones de soldabilidad que el Hofo. Las asperezas insertan una plataforma de mejor agarre y le dan a la mazas mayor durabilidad.

Hugot[3] , en su texto, desarrolló el análisis teórico de un grupo importante de principios relacionados con la alimentación de los molinos. En primer lugar habla de la longitud, el ancho, la inclinación, la colocación y el intersticio de la Plataforma de Alimentación de las Desmenuzadoras, equipos que en los años 80, eran imprescindibles en el mundo de los molinos de caña. Luego describe La Plataforma de Alimentación entre la Desmenuzadora y el Primer molino y describió los conductores intermedios. Estos conductores son equipos que transportan el bagazo de la salida de un molino a la entrada del siguiente y hay tres tipos principales:

- Las cadenas de arrastre o de rastrillo.
- Las cadenas de conducción, de tablillas o de persiana
- Los intermedios fijos, tipo Meinecke (Fig.2).



**Fig. 2-** Conductor Intermedio Fijo, tipo Meinecke.

A pesar de lo explicado anteriormente por el autor, con respecto a los conductores, también brinda las ventajas y desventajas de cada uno de estos. En el caso de las cadenas de arrastre, son simples pero se desgastan rápidamente trabajando dentro del bagazo y en contacto con el jugo ácido entre otras. En el caso de los conductores de tablillas, son más pesados y aunque arrastran fragmentos de bagazo que dejan caer en los molinos, ayudan eficazmente a la alimentación por el empuje de las tablillas sobre el bagazo de la plataforma.

Según Hugot [3], los atascamientos han sido la pesadilla de los ingenieros encargados de los molinos. Cuando un molino trabaja cerca de máxima capacidad, cualquier cosa resulta suficiente para provocar situaciones de este tipo: un pistón hidráulico flojo, una cuchilla central muy alta o muy baja, la punta de la cuchilla desgastada, entre otros. La multiplicidad de las causas posibles hace difícil la definición exacta del mal y pueden transcurrir varias semanas antes de remediarlo eficazmente. Por este camino llegó a la alimentación forzada, que consiste en obligar, con la ayuda de un aparato especial -Los Alimentadores-, la entrada del bagazo en el molino. Enumera tres principales tipos de Alimentadores:

- Los Rotativos
- Los Alternativos
- Los Continuos a presión

Los alimentadores anteriormente citados continuaron su perfeccionamiento ya que se siguieron imponiendo criterios de necesidades de aumento de capacidad. Así apareció la cuarta maza alimentadora y la tolva Donnelly. Según Hugot [4], la solución más eficiente utilizada es la combinación de estos factores. Este método aumenta hasta un 40 % la capacidad de molienda en los tandems. Siendo este sistema el que se pretende instalar en la planta.

En esta versión Hugot [4] emite un criterio acerca de que la Imbibición juega un papel importante en la Alimentación. Dice que los molinos toman más difícilmente el bagazo embebido que el seco. Por esta razón los operadores disminuyen la imbibición cuando encuentran difícil la alimentación, o se producen atascamientos frecuentes. Por otra parte, el bagazo embebido con agua caliente se toma aún más difícilmente que el embebido con agua fría. Si se dispone de estas dos clases de agua pueden resolverse ciertos problemas de la alimentación, particularmente en el último molino, pasando del agua caliente a la fría sin disminuir su volumen. En la Planta Piloto se trabaja con el agua de imbibición caliente la cual es suministrada después de la salida del segundo molino.

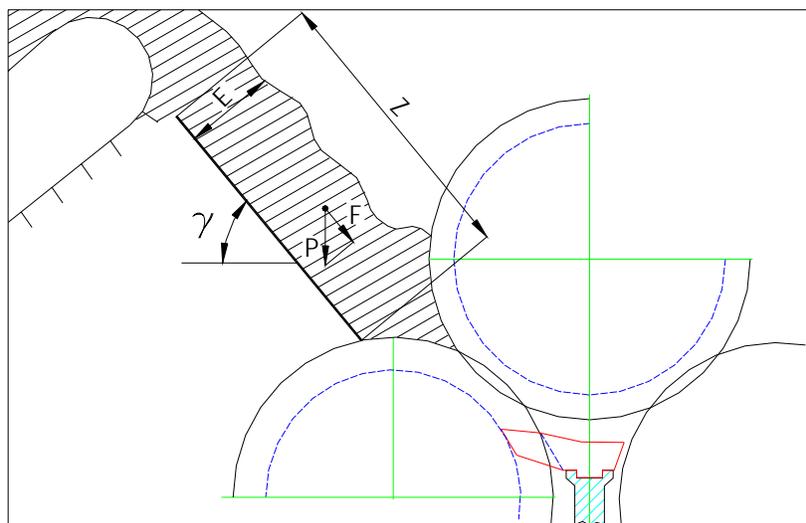
Las tolvas de alimentación pertenecen al grupo de equipos menos utilizados en nuestro país a pesar de tener un sin número de ventajas a su favor. Según MPM[5], estos simples cajones rectangulares de chapa, sin consumir energía alguna, proporcionan situaciones muy favorables y novedosas en los siguientes aspectos de las plantas de moler:

- Cantidad de caña molida.
- Extracción de Pol.
- Ahorro de energía.

- Disminución de tiempo perdido.

### 1.2.1- Alimentación del Molino por Gravedad

La presión generada por el conductor de tablillas provoca un efecto muy pequeño en la alimentación del molino. Esta situación no es diferente al utilizar conductores intermedios de arrastre, pero esto se puede solucionar e incrementar la presión sustancialmente utilizando la alimentación por gravedad.



**Fig. 3.** Tolva de Alimentación Simple.

La alimentación por gravedad consiste en aumentar el efecto alimentador con la ayuda de tolvas simples (Fig. 3), que se colocan en la boca del molino a continuación del conductor intermedio. Como se aprecia, la componente del peso del bagazo que actúa paralela a la placa de la tolva incide en la superficie de la maza alimentadora, provocando una mayor adhesión de este a la superficie de dicha maza y producto de esto aumenta la fuerza alimentadora.

### **1.3- Análisis de los transportadores de banda.**

Los transportadores de banda poseen un amplio campo de empleo en la manipulación de materiales a granel y en bultos. La alta velocidad con que pueden trabajar, los distintos anchos de bandas, tipos e inclinación de las mismas, los hace capaces de asimilar capacidades desde varios kilogramos hasta unas 20 000 toneladas por hora y con longitudes que pueden ir desde unos metros hasta varios kilómetros. Además, pueden utilizarse en el transporte de materiales a granel con diversas características y propiedades, como son livianos y pesados; secos o húmedos; polvorientos o en grandes terrones; corrosivos y abrasivos, etc. También distintos tipos de bultos como sacos, paquetes, cajas, bagazo, etc. y hasta objetos cuya transportación es delicada. Actualmente se fabrican bandas que pueden transportar materiales con temperaturas algo elevadas (en el orden de los  $100^{\circ}$  C)

Sus ventajas principales, además de las ya dichas, son que el perfil transversal de la traza puede ser muy variable, son silenciosos, su mantenimiento es sencillo, el consumo de potencia por tonelada de material transportado es muy bajo y es muy factible su automatización.

Sus desventajas fundamentales son que no admiten cambios de dirección en su vista de planta y un costo inicial elevado, sobre todo por el precio de las bandas que actualmente puede llegar hasta a cientos de dólares el metro de longitud M [6] .

### **1.4- El Consumo de Potencia en molinos de caña.**

Los análisis del consumo de potencia y de los factores relacionados con el mismo, han sido tratados por diversos autores tanto nacionales como internacionales. A continuación se brinda una panorámica de esta temática, la cual resulta muy interesante por las pérdidas que representa para la economía cubana una no adecuada utilización de los sistemas instalados.

---

Si se observa el enfoque de Hugot [4], este descompone la potencia en seis términos principales:

- Potencia consumida en la compresión del bagazo.
- Potencia consumida por la fricción entre los muñones y los cojinetes.
- Potencia consumida por la fricción del bagazo y la cuchilla central.
- Potencia consumida por la fricción de los raspadores y la punta de cuchilla.
- Potencia consumida por el movimiento del conductor intermedio.
- Potencia consumida por ineficiencia de la transmisión.

Por su parte James E. Currier [11] plantea que existen factores externos del molino que inciden en el consumo de potencia entre los cuales tenemos:

- Preparación de la caña.
- Razón de molida.
- Composición de la materia prima.

Por otro lado Pérez [7] señaló que además de estos factores existen modificaciones que se han ido introduciendo en las últimas décadas y han proporcionado variaciones sustanciales en los valores de preparación del colchón, capacidad de molida y extracción del molino. Entre los más importante se puede citar:

- Tolvas Donnelly.
- Aumento en los pasos de rayados.
- Asperezas por soldadura en los rayados de las mazas.
- Introducción de la cuarta maza.
- Aumento de los diámetros de las mazas.

#### **1.4.1- Factores que Intervienen en el Consumo de Potencia**

En Cuba casi toda la caña se prepara empleando juegos de cuchillas picadoras, salvo en algunas casos que se utilizan desfibradoras medianas por lo que resulta de gran

importancia las publicaciones hechas por Edmundo Herrera [8], G. H. Jenkins [9], y Emil Hugot [10], entre otros. En la planta se utilizan dos juegos de cuchillas una de ellas en la salida del basculador y la otra a mediados del transportador de tablillas.

En particular en Cuba se pretende romper en la caña la mayor cantidad posible de las celdas de jugo partir de impactos de alta velocidad con elementos desprovistos de filos cortantes (lo cual se tiene implementado en la planta), para facilitar la extracción posterior por compresión y lavado. Sin embargo otros autores de carácter internacional como James E. Currier [11] consideran de gran importancia en su nuevo diseño de cuchillas picadoras, el empleo de elementos provistos de filos cortantes y oscilantes, con el propósito de desfibrar la caña obteniendo fibras delgadas y largas, capaces de poner al descubierto gran cantidad de celadse afirma que dicha preparación también facilitará la alimentación del molino; ya que las fibras se entrelazarán formando aspecto de tejido. También se plantea que con este modelo se pueden obtener índices de preparación de 87 y 90 %. Esto también hace que disminuya la cantidad de bagacillo recirculando en el tandem y disminuye el consumo de potencia allí.

Currier [11] recomienda el empleo de dos juegos de cuchillas una en cada estera, la primera a 6 plg. de ajuste, la segunda a ½ plg. Rotando entre 750 y 850 r.p.m. en 7 pies de estera coloca 136 cuchillas. Todo parece indicar que sobre este aspecto hay que seguir profundizando y comprobar cual sistema es más eficiente.

Gupta [12] hacen referencia a lo interesante que resulta un primer juego con giro convencional y el segundo invertido, donde se aprecia un incremento en el índice de preparación, basándose en un estudio de la preparación de la caña en la India donde consideraba que la preparación tenía valores bajos.

Muchos de estos autores estiman que con los juegos de cuchillas convencionales empleadas en Cuba, el consumo de potencia es aproximadamente de 85 HP por cada 100000 @ /día.

---

Por otra parte, Riera [13] demostró cómo al aumentar el índice de preparación de la caña, se incrementa el consumo de energía en dicha área, sin embargo este aumento es compensado con una disminución en el consumo en los molinos debido al trabajo más estable de estos y al menor esfuerzo que deben realizar en el rompimiento de las fibras. También confirmó que al preparar mejor la caña, los molinos trabajan más estables, existen menos interrupciones y extraen más azúcar. Además al aumentar el índice de preparación de la caña trae el incremento de la extracción global del Tandem.

Con respecto a la razón de molida sus variaciones tienen muy poca influencia en el consumo de potencia, si el aumento de la molida se hace sólo en base a los ajustes del Tandem, permaneciendo constante la preparación de la caña, el por ciento de fibra, la velocidad del molino y la presión hidráulica aplicada. Teniendo esto como una premisa para la modificación que se propone para la planta.

James E. Currier [11] expresó que ante aumentos de la razón de molida de 25%, se han obtenido incrementos de solo 4-5% por lo que desde el punto de vista de ahorro de energía, lo más recomendable es trabajar con el colchón de bagazo lo más grueso posible. Lo cual en la planta es un poco difícil de mantener pues al pasar demasiada caña a través de las dos desmenuzadoras se atora el primer molino con mucha facilidad.

#### 1.4.2- La Compresión del Bagazo

La compresión del bagazo es el más importante de los aspectos a considerar en el consumo de potencia de un molino, en primer lugar porque el equipo fue diseñado para realizar esta actividad específicamente y en segundo lugar porque si la eficiencia del equipo es adecuada, una parte considerable de la potencia consumida se debe invertir en esta operación.

Hugot [10] analizó este fenómeno y considera como si el colchón sufriera un proceso de extrucción entre los dos cilindros, sometido a la presión que se le imprime por parte

del pistón hidráulico. A partir de allí y por integración obtiene una expresión matemática.

En su versión del año 1980 [14] introdujo el factor de carga fibrosa específica para calcular esta expresión, por otra parte en la edición del 86 introduce el concepto de reabsorción que había sido determinado anteriormente por otros autores. Debe señalarse que este autor considera prácticamente despreciable el trabajo de la compresión entre la maza superior y la bagacera. Esto no se demostró totalmente en el texto y otros autores consideran que tiene importancia por lo que debe ser objeto de estudio posteriormente.

En ambas ediciones el autor demuestra que el trabajo requerido para la compresión del colchón es una función de la fuerza hidráulica total sobre el molino y de la velocidad tangencial de las mazas. En la edición del 80 demuestra que también depende de la carga fibrosa específica, de la densidad del trabajo y de la fibra en bagazo. Además en la edición del 86 estos factores son sustituidos por el factor de reabsorción y la abertura relativa de salida, que es la relación entre el setting dinámico de salida y el diámetro del molino.

Edición del 80.

$$N = n \times D / \eta_t \left[ P \left( 0.5 \times \sqrt{\tau / (d \times F)} + 0.05 \right) + 4 \times L \right]$$

donde:

N – Potencia consumida, en HP.

P – Presión hidráulica aplicada en la maza superior, en tm.

n – Velocidad de rotación de los cilindros, en rpm.

D – Diámetro de las mazas, en m.

$\tau$  - Carga fibrosa específica, en  $\frac{Kg}{m^2/m}$

$d$  – Densidad del bagazo comprimido en el plano axial de las mazas de salida, en  $\frac{kg}{m^3}$ .

$F$  - Fibra de bagazo saliendo del molino, con relación a la unidad.

$L$  – Longitud de las mazas, m.

$\eta_t$  - Rendimiento total de los engranes.

Edición del 86.

$$P = \frac{n \times D}{\eta_t} \left\{ F \left[ 0.4 \times \left( \frac{6r - 5}{\sqrt{r}(1 + \sqrt{r-1})} \right) \times \sqrt{\varepsilon_A} + 0.075 \right] + 4 \times L \right\}$$

donde:

$P$  – Potencia consumida, en HP.

$F$  – Presión hidráulica aplicada en la maza superior, en tm.

$n$  – Velocidad de rotación de las mazas, en rpm.

$D$  – Diámetro de las mazas, en m.

$\varepsilon_A$  - Abertura específica entre las mazas.

$r$  – Factor de reabsorción.

$L$  - Longitud de la maza, en m.

$\eta_t$  - Rendimiento total de la transmisión.

#### 1.4.3- Fricción entre las Mazas y las Cuchillas Centrales

Hugot [10] considera que el ajuste es una operación delicada e importante ya que esta consiste en determinar las posiciones relativas más favorables que deben darse a los tres cilindros y a la cuchilla central con el fin de obtener las mejores condiciones para la alimentación y los mejores resultados en la extracción, por tanto el ajuste comprende dos operaciones principales:

- El ajuste de las aberturas de entrada y de salida.
- El ajuste de la cuchilla central.

Diversos autores plantean que los molinos poseen dispositivos que permiten variar la posición en reposo de cada uno de los cilindros inferiores con relación al cilindro superior, por esta razón las posiciones relativas en reposo determinan las posiciones relativas trabajando, cuando el cilindro superior se levanta contra la presión hidráulica por el empuje del bagazo. C. C. Cant [17] plantea que el problema fundamental está en definir la densidad del material que va a ocupar ese volumen en tránsito que describen las mazas al girar.

Este autor agrega además que existen dos formas de enfocar este problema, uno sería partir del hecho real de que lo que pasa entre los molinos es bagazo, o sea una mezcla de fibra y jugo y considerar la densidad del mismo, lo otro sería hacer una abstracción y trabajar solo con la fibra, considerando para la misma un volumen específico que incluya el espacio vacío que ocuparía el jugo.

#### **1.4.4- Fricción entre las Chumaceras y los Collarines de los Guijos, y Contacto entre los Engranajes y las Coronas**

El departamento de Planta Moledora del Viceministerio del azúcar estableció para el cálculo de los ajustes de los molinos un método el cual aparece en el manual de Planta Moledora [5], donde se estableció como patrón para todos los molinos del país. Este sistema de cálculo fue el resultado del estudio de varios autores adecuados a las situaciones de molienda y a las variaciones de caña existentes en Cuba. Junto con la compresión del bagazo, las pérdidas friccionales son el otro gran factor a tener en cuenta en el consumo de potencia de un molino.

Estas pérdidas friccionales en el molino se pueden dividir en dos grupos: pérdidas dentro del molino que son las que están comprendidas por medio de las chumaceras y

las cuchillas, y pérdidas fuera del molino que abarcan las ocurridas en las transmisiones.

S. Herscovici [15] describe una caja de engranes de tipo planetario de alta potencia para reducir los costos de funcionamiento y mejorar la eficiencia de los molinos. Esta caja reduce la velocidad y es la más adecuada para la transferencia de alto torque o alta potencia porque tiene seis pares de dientes que soportan simultáneamente la carga. Debido a que el torque de salida del planetario se origina de la suma de las fuerzas de los seis engranajes, las fuerzas se reducen y por consiguiente la caja entera puede ser mucho más pequeña que un reductor paralelo, quizás menos de la mitad del tamaño de éste; así que puede diseñarse para proporcionar una vida más larga. Tal vez la razón más importante para tener en cuenta la caja de engranajes de tipo planetario sea que ella provee un desempeño superior a un mayor costo.

A. G. Shield [16] y C. C. Cant [17] desarrollaron una nueva unidad de transmisión hidráulica para una maza de molino de 2,13 m de longitud la cual tiene como ventaja un alto torque y baja velocidad. Esta fue instalada en el ingenio azucarero Victoria, donde hubo un incremento en la taza de molido de 830 a 1230 tch.

Muños, G Lewinski [18] en el trabajo realizado en el ingenio azucarero de San José de Abajo, México, instalaron por primera vez una transmisión hidrostática directa para determinar el consumo de potencia promedio para el molino en estudio y esto arrojó un valor de 196 Kw (263 HP), con máximos de 220 Kw y mínimos de 168 Kw, bajo condiciones normales de trabajo. Existen otras publicaciones de prestigiosos autores acerca de este tema de las transmisiones que han servido para el desarrollo de éstas con el objetivo de disminuir el consumo de potencia por medio de las pérdidas friccionales.

#### **1.4.5- Fricción entre la Cuchilla Central, el Bagazo, las Mazas y los Raspadores**

La cuchilla central es otro de los elementos en los cuales se consume potencia por concepto de fricción ya que considerando lo planteado en el Manual de Planta Moledora [5] existe una fricción en el paso del bagazo por la cuchilla la cual está determinada por:

- Presión hidráulica aplicada al molino
- Velocidad tangencial de la maza superior
- Posición y configuración de la cuchilla (altura, forma del pecho de paloma, caída y ancho)

También por la importancia de este aspecto es necesario que se profundice sobre el mismo en un futuro con vista a optimizar la altura y el perfil de la misma para llevar a sus valores mínimos el consumo de potencia por esta causa, sin disminuir la eficiencia de las funciones que este elemento realiza (servir de puente entre la primera y la segunda compresión) y de raspador de la maza cañera.

Se estima que el bagazo que transita sobre la cuchilla central está sometida a una presión equivalente al 20 % de la presión hidráulica total, y que existe deslizamiento relativo entre las distintas capas que constituyen el colchón, debido a que la que está en contacto con la cuchilla no tiene la misma velocidad de traslación que la que acompaña a la maza superior. Por este motivo un perfil y una posición de la cuchilla central adecuados llevan al mínimo el consumo de potencia por este concepto. El desgaste que sufre la cuchilla tanto en la zona próxima a la maza cañera (punta) como en el resto de la superficie superior en contacto con el bagazo es producto de la fricción existente. Esto puede tomarse como indicador de si la altura a la que ha sido colocada la cuchilla es correcta o no.

#### **1.4.6- Efecto del Torque en el Consumo de Potencia**

Hugot [4,10] no habla explícitamente del efecto del torque en el consumo de potencia, por su parte James E. Currier [11] si hace referencia a este tema, pero es innegable que ambos autores lo tienen en cuenta cuando utilizan en sus expresiones la fuerza aplicada y los coeficientes de fricción.

Otros autores se han detenido más en el estudio de este aspecto, y consideran que el consumo de energía es una función del torque y la velocidad de giro de las mazas. Realizaron la medición del torque mediante un generador de pulsos rotativos, acoplado al extremo de la maza superior del molino, en el que se montó un puente de Wheastone para medir la deformación torsional. Lograron encontrar una desviación de un 3% a 5% (que depende del tipo de barra de conexión) entre el coeficiente de calibración y un coeficiente teórico obtenido en un modelo matemático.

D.M. Jenkin [9], describe una técnica desarrollada para la medición del torque utilizando medidores de deformación y radio telemetría, la cuál es adecuada para ejes de alta y baja velocidad en aplicaciones temporales o permanentes. Expone los resultados de las investigaciones de las calibraciones del torque de la espiga de salida que permite la medición del torque sin necesidad de la calibración directa y se describe una configuración de las deformaciones para eliminar el efecto de esfuerzo cortante por flexión.

También James E. Currier [11] expresa la potencia en función del torque, el que depende de la presión hidráulica específica aplicada, del largo de las mazas y de la velocidad sin que intervinieran por lo menos de forma sustancial otros parámetros. En la Revista Internatinal Sugar Journal. de Marzo 96 [5] hace mención de que existen varios métodos empleados en el mundo para medir el torque. El método más comúnmente utilizado ha sido la observación de las tomas de potencia de entrada en el caso del motor eléctrico y de la presión del vapor en el caso de las turbinas, sin embargo estos métodos solo brindan resultados aproximados. Un método más

moderno y preciso es la medición, como coinciden muchos autores, es la extensometría donde la magnitud y frecuencia de las oscilaciones rotatorias, pueden ser registradas con muy alta precisión por medio de un registrador de varias pistas que hace visible la carga característica de una instalación.

En 1985 se reunieron un grupo de los más prestigiosos técnicos de este país en el campo de la molienda y comenzaron un proceso de intercambio de opiniones sobre el tema donde se incluye el conocimiento de las tendencias de los países más desarrollados en este aspecto y a partir de allí se han publicado un numeroso grupo de folletos de gran utilidad para los azucareros cubanos.

James E. Currier [11] estima que más del 70% de la potencia que se consume en el ingenio se emplea en la planta de moler, de ahí la importancia de conocerla lo mejor posible para poder actuar sobre ella y más adelante señala que si un tandem de nuestro ingenio redujera su velocidad a la mitad se obtendría una reducción considerable del consumo de potencia. En realidad esta proporción puede ser más baja y llegar al 50 % en muchos centrales pero la esencia de la afirmación es muy importante. En nuestro caso se consume aproximadamente un 40%, teniendo mucha un bajo factor de escala.

Es frecuente que molinos de la misma capacidad presenten comportamientos muy distintos y esto puede deberse a fallos técnicos pero puede ser también producto de un error humano, por lo que Herrera [8], plantea es que cuando un jefe de maquinaria tiene bien medido el consumo de su molino puede, al detectar variaciones notables, descubrir anomalías antes de que se produzca una rotura mayor. Algo de lo que se carece en la planta y que se debe tener en cuenta para un buen funcionamiento de la misma.

### **1.4.7- Otros Factores que Influyen en el Consumo de Potencia**

Por su importancia y tendencia actual en el mundo de la industria azucarera, es imprescindible tener en cuenta el tema de los factores que atentan contra el consumo específico de potencia en un tandem. Pérez [19], hace referencia a algunos de ellos y a continuación se muestra una explicación a grandes rasgos de su influencia.

#### **1.4.7.1- Aumento del Diámetro de las Mazas**

Esta tendencia se ha venido manifestando desde hace algunos años y ya ha sido llevado al extremo de que en el moderno central de Ord River, en Australia, se emplean mazas de más de dos metros de diámetro.

Una maza de gran diámetro permite aumentar la extracción, la capacidad de molida, o ambas a la vez, ya que si se mantiene la velocidad tangencial, puede disminuirse la velocidad angular y se produce un mayor tiempo de retención en la compresión del bagazo, que de esta forma, reabsorbe una menor cantidad de jugo. Es evidente que cualquiera de estos factores debe traer consigo un aumento en el consumo de potencia ya que se realiza un mayor trabajo sobre el colchón. Situación esta que no afecta mucho a la planta pues las masas son muy pequeñas al compararlas con las mencionadas.

#### **1.4.7.2- Aumento en los Pasos de Rayados**

Se producen aumentos tan grandes en el consumo de potencia al aumentar el paso y la profundidad del rayado que en algunos casos han invalidado el equipo motriz, (esto es, que el equipo motriz no ha podido continuar moviendo el sistema y se ha disparado constantemente) en el caso de motores eléctricos. Las causas de este fenómeno, que es absolutamente real, se manifiestan en el aumento de la capacidad de molida y en el índice de rotura de celdas que se produce con los rayados más gruesos.

Se ha demostrado que los rayados de más paso consumen la mayor potencia, brindan la mayor capacidad de molida y establecen el mayor índice de rotura de celdas. En las masas actuales de la planta el paso del rayado es de 25 mm, aunque debe de señalarse que como no es un paso tan grande y los motores no sufren a su causa, estos motores están sobre diseñados y los mismos deben de ser cambiados por unos de menor potencia.

La explicación fundamental de este fenómeno estriba en el hecho de que uno de los requisitos básicos para lograr una buena desintegración es la velocidad relativa entre los elementos a través de los cuales pasa el colchón. Este principio ha sido planteado por casi todos los autores en lo que se refiere al área de preparación (cuchillas de picar caña, desfibradoras), pero casi ninguno lo ha enfocado para el área de molinos. Con el rayado se logra que haya una diferencia entre la velocidad tangencial de la punta del rayado de una maza con relación al fondo de la otra. Este efecto se acentúa a medida que es mayor el paso y menor el ángulo de los rayados y hace que la trituración del colchón aumente.

Otro efecto que hace que el rayado constituya un elemento a tener en cuenta en el consumo de potencia del molino es su incidencia sobre el aumento de la capacidad de molida. La capacidad es una función del volumen de material por unidad de tiempo que puede manipular el molino y de la densidad de dicho material.

El volumen es, a su vez, una función de la distancia entre mazas o ajuste (setting) del molino, de la longitud de las mazas y de la velocidad tangencial, que depende del diámetro y de la velocidad angular.

En una maza, la longitud efectiva de contacto con el colchón, es igual a la longitud del cilindro si el mismo es liso, pero si se hace un rayado a 60 grados la longitud efectiva de contacto se duplica. Con los ángulos agudos que se emplean actualmente (45 y hasta 35 grados) este efecto se hace aún mayor. Este aumento de la longitud efectiva hace que aumente la capacidad de molida sin aumentar los otros

parámetros. El aumento en el desmenuzamiento del colchón y en la capacidad, originan un mayor consumo de potencia.

#### **1.4.7.3- Asperezas Globulares y Transversales**

En el año 1970 se comenzó a aplicar la aspereza globular por primera vez en Cuba, en la provincia Villa Clara. La misma consiste en rosetas que se producen por chisporroteo en el vértice de los rayados circulares. A partir de 1986 se comenzó a emplear la aspereza transversal y actualmente se ha difundido a la mayoría de los centrales azucareros del país.

La aspereza transversal consiste en el depósito de cordones continuos en el vértice del rayado circular y cordones transversales en los flancos de dicho rayado, ubicados a 20 mm de paso y utilizando electrodos con hasta 20 % de Cr y que originan una matriz martensítica con durezas de hasta 60 HRC en el cordón. Entre las ventajas que esta tecnología ha traído consigo está el hecho de que se ha eliminado el chevrón o rayado transversal por la gran facilidad de alimentación que se ha logrado y se señala explícitamente un aumento de la capacidad de molienda. Este aumento en la alimentación y en la capacidad origina, evidentemente, un aumento en el consumo de potencia. Siendo este método el utilizado en la planta.

#### **1.5- Tolvas Donnelly**

Este elemento que se ha comenzado a adicionar a los molinos a partir de hace algunos años en nuestro país ha constituido, junto a las asperezas transversales, una verdadera revolución en la molienda.

Consiste en una tolva vertical constituida fundamentalmente por dos chapas casi paralelas y con una altura suficiente para que el colchón de bagazo cree una "columna de alimentación" a la entrada, o sea, en la garganta del molino, entre la maza alimentadora y las dos mazas de la primera compresión.

Algunos manuales de referencia, señalan aumentos de hasta un 20 % en la capacidad de molienda con la utilización de la tolva. Todos estos elementos hacen que este aditamento sea un evidente y objetivo factor de aumento de la capacidad y por lo tanto del aumento en el consumo de potencia.

Si se tratara de resumir lo relacionado con las mejoras introducidas en los tandems en los últimos años pudiera decirse que tanto las mejoras en el rayado, los distintos tipos de asperezas como las tolvas Donnelly, junto con las mazas alimentadoras contribuyen a un aumento en el consumo de potencia pero de una manera positiva ya que incrementan la capacidad de molienda, la extracción o ambos a la vez y solamente la cuarta maza puede tener algunos elementos de gastos indeseados de energía en los cojinetes y en las coronas que le sirven de transmisión.

### **CONCLUSIONES PARCIALES:**

1. La tendencia en el mundo actual es la instalación de las cuartas masas en los molinos y las Tolvas Donnelly lo que permite aumentar la capacidad de molienda hasta un 20 %.
2. Los transportadores de bandas brindan una buena cantidad de ventajas, lo cual permite que pueda utilizarse como dosificador de la Tolva Donnelly, produciéndose una mejor alimentación de la tolva.
3. Hay infinidad de factores que afectan el consumo de potencia en el molino y los diversos autores coinciden en señalar algunos como la presión, la velocidad tangencial y el grado de preparación, sin referirse al factor humano que en nuestra opinión es otro elemento que debe de tenerse en cuenta.

## **CAPITULO II. ANALISIS DE ESTUDIOS ANTERIORES Y DIAGNOSTICO DEL TRANSPORTADOR DE BANDA.**

### **2.1- Análisis del Proyecto elaborado por el ICINAZ:**

El proyecto elaborado por el INCINAZ [20] como una propuesta de modificación del área del Tandem de la Planta Piloto tiene como objetivos y premisas las siguientes:

#### **OBJETIVOS:**

Este servicio tiene como objetivo la instalación de un molino de 15X18 de uso con la Alimentación por Tolva Donelly y dosificador por conductor de banda procedente de la planta desactivada de 26 de Julio. Además se incluye la remodelación de la transmisión y de la estera alimentadora.

#### **PREMISAS DADAS POR EL INVERSIONISTA:**

1. Instalación del molino procedente de 26 de Julio, con remodelación de la transmisión.
2. Proyectar una instalación que brinde las mejores posibilidades para la operación, reparaciones y mantenimiento de los equipos.
3. Considerar todas las mejoras conocidas en los Tandems y que sea posible su aplicación.
4. Posibilidad de tener una instalación que permita efectuar una alimentación automática del Tandem.
5. Aprovechamiento al máximo de los equipos de uso existente en el 26 de Julio.

#### **PREMISAS DADAS POR EL PROYECTISTA:**

1. Distribuir el espacio disponible en toda el área del Tandem que permita la instalación del molino actual y los tres similares en un futuro.

2. Colocar el molino a una altura que permita la instalación de la Tolva Donelly y a su vez haga posible la descarga libre del último molino al conductor de banda cuando se complete la inversión.
3. Remodelar la estera elevadora con el menor ángulo posible que permita la instalación del electroimán entre esta y el conductor de banda que no sobrepasara los 22 grados de inclinación.
4. Proyectar los cabezotes de las presiones hidráulicas con el sistema ARANGO de una sola zapatilla. Que a su vez irán preparados con los topes mecánicos tipo FJM 2006, que permitirán calibrar el molino sin desarme previo.
5. Invertir los quijos y el sentido de rotación de las mazas actuales.
  
6. Contemplar en la obra civil los corrimientos de los anclajes para en el futuro usar los quijos con mayor distancia en centros que permitan la instalación de soporte con tornillos pasantes verticales similares al Fultón inclinados. Ya probados en los molinos que se montaron en México.

Por otra parte se realiza la propuesta de instalación de una segunda Tolva Donelly en el primer molino con otro conductor de banda, lo cual se prevé para un futuro, por lo que en nuestra opinión este proyecto debe realizarse en dos fases. En una primera fase se realizaría el montaje del molino desmenuzador para la sustitución de las dos desmenuzadoras con el conductor de banda tal y como se trazan en los objetivos. Una segunda fase donde si se contemplaría ya el montaje de la segunda Tolva Donelly más los ajustes pertinentes según las premisas realizadas, ICINAZ [20].

Al realizar el análisis de este proyecto se puede constatar la omisión de algunos detalles, como son las unidades de medidas, en los planos no se define la altura a que debe estar la Tolva Donelly ni que ángulo de inclinación debe llevar el transportador de banda a instalar, así como se plantea la necesidad de un proyecto civil aun en construcción, entre otros.

## **2.2- Análisis de la tesis de grado**

Este trabajo trató sobre una propuesta de modificación en el tandem de molinos de la Planta Piloto “José Martí” de la Universidad Central de las Villas. Lo que consistió en la sustitución de las dos desmenuzadoras por un molino desmenuzador y la instalación de una tolva Donnelly para alimentar dicho molino. Con esta modificación se persiguió un aumento de la capacidad de molida de dicho tandem y una disminución del consumo específico de energía por tonelada métrica de caña molida.

En el mismo se realiza la propuesta de un molino desmenuzador de tres masas, no se analiza un cambio en el transportador de tablillas por uno de banda que descargue en la tolva donelly, Polo [21]. Este trabajo es netamente metodológico donde se demuestra como realizando la sustitución de las desmenuzadoras por el molino desmenuzador y tolva donelly se puede mejorar la capacidad de molida sumándole un ahorro de energía.

## **2.3- Datos técnicos del molino desmenuzador.**

El molino desmenuzador, con su tolva Donelly y el transportador de banda que se pretende instalar en la Planta Piloto procedente del Central 26 de julio consta de los siguientes datos técnicos.

Molino desmenuzador:

- 1- Capacidad de molida de 3 a 7 T/h, se encontraba funcionando a una capacidad real de 5t/h.
- 2- Diámetro de las mazas de 406 mm. (16 pulgadas).
- 3- Largo de las mazas de 457.2 mm. (18 pulgadas).
- 4- Velocidad angular de la maza superior de 4.62 rpm.
- 5- Potencia del motor eléctrico de 30 KW a 875 rpm.
- 6- Relación de transmisión de las poleas de 1.3.
- 7- Relación de transmisión del reductor de 31.5 a 1 Ratio.

Tolva Donelly:

- 1- Posee una altura de 3.87 m con respecto al suelo.
- 2- Un ancho de 0.48 m.
- 3- Largo de 0.66 m.
- 4- Alto de la misma es de 1.90 m.

Transportador de Banda:

- 1- Longitud del transportador 7.3 m.
- 2- Diámetro de la tambora de retorno de 400 mm.
- 3- Diámetro de la tambora motriz de 500 mm.
- 4- Ancho de la banda de 400 mm.
- 5- # De capaz 6.
- 6- Longitud de la banda 15 m.
- 7- Peso del rodillo superior 42.1 N.
- 8- Peso del rodillo inferior 132.44 N.
- 9- Largo del rodillo superior 400 mm.
- 10- Largo de rodillo inferior 700 mm.
- 11- Diámetro de los rodillos superiores e inferiores 100 mm.
- 12- Distancia entre los rodillos superiores 750 mm.
- 13- Distancia entre los rodillos inferiores 840 mm.
- 14- Ángulo de inclinación de los rodillos superiores 20°.
- 15- Los rodillos superiores son dos.
- 16- Sprocket del reductor 12 dientes
- 17- Sprocket del eje de la Tambora 22 dientes.
- 18- Motor de 3 KW a 1750 rpm.
- 19- Reductor de 2.5 HP y Ratio 50 a 1.

#### **2.4- Diagnóstico del Transportador de Banda**

El transportador cuenta de una banda de 400mm de ancho con una longitud de 15m, está empatada por vulcanizado, como no se pudieron obtener mas datos sobre la banda se tuvo entrar al catálogo INDY para bandas transportadoras donde se encontró

una similar la cuál posee una resistencia de 630 Kg/cm y un peso de  $11.70 \text{ Kg}/m^2$ . La misma posee un motor eléctrico de 3 KW y 1750 rpm, un reductor de velocidad de 2.5 HP y ratio 50 a 1, el diámetro del tambor del eje motriz es 520 mm, el sprocket del reductor es de 12 dientes y 2 pulgadas de paso, el sproker del eje de con la tambora es de 22 dientes y 2 pulgadas de paso, el tipo de cadena es RC 160 de 2 pulgadas de paso.

#### 2.4.1- Tarea técnica:

La tarea técnica de este trabajo se basa en realizar el cálculo al transportador de banda que por ser en su rama superior de dos rodillos, esta metodología aparece en el texto, M [6], pero no especifica el cálculo de capacidad de transportación por ser de dos rodillos en la rama superior del transportador y en la misma se debe de tener en cuenta el área del bulto a transportar.

#### 2.4.2- Cálculo de evaluación del transportador:

##### Pasos previos:

- Atesador de tornillo ok.

Propiedades del material:

$$\rho = 0.2T/m^2$$

$$\mu_g = 0.4$$

$$\varphi = 10^0$$

La base de la primera desmenuzadora se encuentra a 1.60 m de altura respecto al piso. Los molinos se encuentran a 0.80 m, la altura de la tolva es de 1.5 m. El transportador de tablillas se encuentra a 3 m de altura (ver anexo 1), por lo que:

$$1.60+0.80+1.5 = 3.9-3 = 0.9\text{m}$$

$$0.9/7.3 = 0.13$$

$$\tan^{-1} 13 = 7.4^{\circ}$$

Por lo que el ángulo de inclinación del transportador de banda será de  $7.4^{\circ}$

1- Posibilidad de transportación:

Debe cumplirse que:

$$\beta_{\max} \geq \beta_{\text{mayor}}$$

Donde:

$\beta_{\text{mayor}}$  Es el ángulo de inclinación del transportador de banda.

$$\begin{aligned}\beta_{\max} &= (\arctan \mu_g) - 10^{\circ} = (\arctan 0.4) - 10^{\circ} \\ &= 11.8^{\circ}\end{aligned}$$

Por lo que se cumple la condición y es posible la posibilidad de transportación, pudiendo aumentarse el ángulo de inclinación del transportador si hiciera falta hasta  $11^{\circ}$ .

2- Perfil de los rodillos superiores:

El perfil cuenta con dos rodillos inclinados a  $20^{\circ}$  con respecto a la horizontal.

3- Análisis del recubrimiento:

La banda es de 400 mm de ancho, con una longitud de 15 m con 6 capas. Para su análisis se consideró una banda similar del catálogo INDY la cual posee una resistencia de 247212 N y un peso de 45.91 N/m.

## 4- Capacidad:

Por ser los rodillos superiores de dos rodillos acanalados se utiliza la siguiente expresión:

$$Qp = \rho * v * C_1 * 3600 * A$$

Donde:

$\rho$  Es la densidad del material a transportar.

$v$  Es la velocidad de transportación en m/s.

$C_1$  Factor de disminución de capacidad por inclinación del transportador.

$A$  es el área de la sección transversal de la carga.

$$V = \frac{\pi * D_T * N_{Tm}}{60000} = \frac{\pi * 500 * 19.075}{60000} = 0.5m / s$$

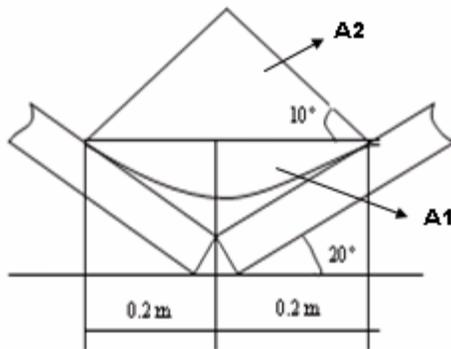
Donde:

$D_T$  Es el diámetro de la tambora motriz.

$N_{Tm}$  Es la velocidad angular del transportador.

$$N_{Tm} = i_{Re ductor} * i_{Tc} * N_m = \frac{12}{22} * \frac{1}{50} * 1750 = 19.075$$

Calculando el área como es de dos rodillos:



$$A_1 = 2 * \frac{(0.2 * \cos 20^0) * (0.2 * \text{sen} 20^0)}{2} = 0.0128 m^2$$

$$A_2 = 2 * \frac{(0.2 * \cos 10^0) * (0.2 * \text{sen} 10^0)}{2} = 0.00684 m^2$$

$$A_r = (0.0128 m^2 + 0.00684 m^2) * 0.85 = 0.017 m^2$$

0.85 es el coeficiente de utilización de la banda.

$$Q_p = 0.2 * 0.5 * 0.9 * 3600 * 0.017 = 5.5 T / h$$

$$CUT = \frac{Q_r}{Q_p} = \frac{5}{5.5} = 0.90$$

$$CUT = 90\%$$

$$Q_r = 5 t / h$$

Donde:

CUT Es el coeficiente de utilización técnica.

5- Pesos lineales:

Pesos lineales:

a) De la Banda

$$q_b = 46 \text{ N}$$

b) De la carga

$$q = \frac{Q * G}{3.6 * V} = \frac{5 \text{ T/H} * 9.81 \text{ m/seg}^2}{3.6 * 0.5 \text{ m/seg}} = 27.25 \text{ N/m}$$

c)

$$q_{rs} = \frac{G_{rs}}{L_{rs}} = \frac{84.2 \text{ N}}{0.22 * 2} = 191.36 \text{ N/m} \rightarrow \langle \text{los dos rodillos} \rangle$$

d)

$$q_{ri} = \frac{G_{ri}}{L_{ri}} = \frac{132.44}{0.7} = 189.2 \text{ N/m}$$

6.-Resistencias

a) concentradas

Tamboras de retorno  $k = 1,1$

Tolva de carga

$$\Delta S_c = (1,44 * Q * (v - v_0)) / 3,6$$

Suponiendo que la velocidad inicial a lo largo del transportador es nula, entonces:

$$\Delta S_c = (1,44 * 5 * 0,5) / 3,6$$

$$\Delta S_c = 1 \text{ N}$$

a) distribuidas

$$\Delta S_{1a2} = (qb + qri)L.W' \cos \beta - qb.L.\text{sen}\beta$$

$W' = 0,035$  (suponiendo condiciones adversas y rodillos planos)

$$\Delta S_{1a2} = (46 + 189.2)15.0,035.\cos 11.3^0 - 46 * 15 * \text{sen} 11.3^0$$

$$\Delta S_{1a2} = -14.2 \text{ N}$$

$$\Delta S_{3a4} = (qb + q + qrs)L.W'.\cos \beta + (qb + q)L.\text{sen}\beta$$

$W' = 0,04$  (suponiendo condiciones adversas y rodillos acanalados)

$$\Delta S_{3a4} = (46 + 27.25 + 191.36) * 15 * 0,04 * \cos 11.3^0 + (46 + 27.25) * 15 * \text{sen} 11.3^0$$

$$\Delta S_{3a4} = 1772.18 \text{ N}$$

7.-Relación de tensiones:

$$S_1 =$$

$$S_2 = S_1 + \Delta S_{1a2} = S_1 - 14.2 \text{ N} \quad (\text{I})$$

$$S_3 = k_{1a2}.S_2 = 1,1.S_2 = 1,1(S_1 - 14.2) = 1,1.S_1 - 15.62 \quad (\text{II})$$

$$S_4 = S_3 + \Delta S_{3a4} = 1,1S_1 - 15.62 + 1772.18 \text{ N} = 1,1S_1 + 1756.56 \quad (\text{III})$$

Para obtener la cuarta ecuación se busca el coeficiente de tracción en el Oriol [8], para el caso de una tambora de hierro fundido, ambiente seco y polvoriento y ángulo de contacto de  $180^0$ ; entonces  $e^{\mu.\alpha} = 2,56$ , la cuarta ecuación será:

$$S_4 = S_1. e^{\mu.\alpha} = 2,56 S_1 \quad (\text{IV})$$

Simultaneando (I) y (III) se obtiene.

$S_1 = 1203 \text{ N}$  y sustituyendo en las demás ecuaciones se obtiene:

$$S_2 = 1188.8 \text{ N}$$

$$S_3 = 1307.68 \text{ N}$$

$$S_4 = 3079.68 \text{ N}$$

Como ninguna de las tensiones es menor que 500 N entonces pueden dejarse estos valores.

### 8.-Potencia

$$N = \frac{W_0 \cdot v \cdot k_s}{1000 \eta_t}$$

$$W_0 = S_4 - S_1 = 3079.68 - 1203 = 1876.68 \text{ N}$$

$k_s$  puede tomarse como 2

$\eta_t = 0,85$  (también asumido)

Entonces:

$$N = 3 \text{ kW.}$$

### 9.-Comprobación de la banda

a) en funcionamiento.

Debe cumplirse que:

$$B \cdot S_{rot} \cdot k_u \geq k \cdot S_{max}$$

$$k_u = 0,8$$

$k$  es el factor de seguridad que se busca el texto de acuerdo con el número de capas.

$$40 \cdot 630 \cdot 9,81 \cdot 0,8 > 8 \cdot 3079 \cdot 68$$

$$197769.6 > 24637.44$$

Desde este punto de vista pudiera considerarse que podía haber tomado un material de los hilos menos resistente o un menor número de capas.

b) en el arranque

Debe cumplirse que:

$$\frac{B \cdot S_{rot} \cdot k_u}{S_{max} + S_{din}} \geq 1,5$$

Donde

$$S_{din} = S_{imp} - W_0$$

$$S_{imp} = \frac{1000 \cdot k_a \cdot N_s \cdot k_m \cdot \eta_t}{v}$$

Si se considera un acoplamiento flexible debe tomarse  $k_m = 1,3$  y entonces:

$$S_{imp} = \frac{1000 * 2 * 10 * 1,3 * 0,85}{0,5} = 44200 \text{ N}$$

$$S_{din} = 44200 - 1876.68 = 42323.32 \text{ N}$$

Y sustituyendo este valor queda:

$$\frac{40 * 630 * 9.81 * 0.8}{42323.23 + 3079.68} = 4.35$$

Este valor es mayor que 1,5 y se garantiza que la banda resiste en el arranque.

Al realizar el análisis de este diagnóstico se puede decir que el mismo no debe presentar problema pues todos sus indicadores dieron muy favorables. En cuánto a capacidad el mismo puede asumir capacidades futuras pues se mueve a una baja velocidad aunque el CUT es bueno de un 90%, la potencia se corresponde al motor que tiene instalado 3 Kw. También se analiza la banda en funcionamiento y arranque y la misma no presenta problema ninguno en cuánto a su resistencia.

**CONCLUSIONES PARCIALES:**

1. Teniendo en cuenta el análisis realizado del proyecto elaborado por el ICINAZ y reconociendo sus limitaciones se propone la instalación del molino desmenuzador con su Tolva Donelly dosificado a través del conductor de banda donde se encuentran las dos desmenuzadoras.
2. Al analizar la Tesis de grado se puede ver que es netamente metodológica pero en la misma se demuestra que con la utilización de la Tolva Donelly y un molino desmenuzador se lograr aumentar la capacidad de molienda de la Planta y disminuir el consumo de potencia en el área del Tandem.
3. El transportador de banda no debe presentar problemas en su funcionamiento y puede asumir una mayor capacidad de transportación futura de ser necesario aumentando su velocidad, aunque se debe decir que para esta velocidad de 0.5 m/s el CUT es bueno, de un 90%.

---

## **CAPITULO III. CÁLCULO DE CAPACIDAD Y POTENCIA DEL TANDEM.**

### **3.1- Antecedentes**

Por 40 años el tandem de la Planta piloto "José Martí" ha venido sirviendo al desarrollo de investigaciones sobre la molienda de caña, pero en este tiempo se han venido produciendo en los tandems del mundo y de Cuba modificaciones con vista a mejorar la capacidad de molienda y el ahorro de potencia en esta área, por lo cual es necesario adaptar a estas características el tandem de la Planta Piloto.

### **3.2- Esquema de la Instalación Actual y Propuesta de Modificación**

En el caso actual de la Planta Piloto la estera de caña alimenta la primera desmenuzadora, esta alimenta por gravedad a la segunda y la segunda desmenuzadora alimenta al primer molino. Con la propuesta que se hace se eliminarían las dos desmenuzadoras y en su lugar se colocaría un molino desmenuzador con Tolva Donnelly, el cual será alimentado por un transportador de banda, y a su vez este molino desmenuzador alimentaría por gravedad al primer molino ya que será colocado a una altura suficiente para que pudiera ejercer esta función.

### **3.3- Resultados del Trabajo**

Del análisis de la variante actual y de la que se propone se desprenden los siguientes resultados:

#### **3.3.1- Cálculo de Capacidad**

La capacidad de un tandem puede ser determinada por diversas expresiones. Aquí se empleará la que se recomienda en la edición del Hugot [10], pero teniendo en cuenta la influencia de la Tolva Donnelly que aparece en el Manual de Planta Moledora [5] y que plantea que con un aditamento de este tipo a la entrada del primer molino se logran incrementos en la molienda de hasta un 20 %.

$$Q = 0,9 \frac{c.n(1 - 0,06n.D)L.D^2 \sqrt{N}}{f}$$

Donde:

Q – capacidad de molienda, en toneladas de caña/hora.

c – coeficiente relativo a los equipos de preparación.

n – velocidad angular de las mazas, en Rev. /min.

L – longitud de las mazas, en m.

D – diámetro promedio de las mazas del tandem, en m.

N – número de mazas en el tandem.

f – fibra de la caña con relación a la unidad.

El coeficiente relativo a los equipos de preparación puede ser seleccionado en la tabla siguiente, que ha sido tomada del Hugot [10]:

Equipo de preparación.	Valor de c
1 juego de cuchillas de paso ancho.	1,10
2 juegos de cuchillas de paso ancho.	1,15
1 juego de cuchillas de paso estrecho.	1,13
2 juegos de cuchillas (uno ancho y uno estrecho).	1,16
2 juegos de cuchilla y una desmenuzadora.	1,22
Desmenuzadora con caña mecanizada.	1,18

Tabla 4.1- “Valores del Coeficiente c”

La Planta Piloto molió en su última zafra con los siguientes valores:

- Velocidad angular del 1er molino = 5,88 rev/min
- Diámetro medio de las mazas = 0,287 m
- Longitud de las mazas = 0,375 m

- El coeficiente de preparación se tomó como 1,16, considerando un juego de cuchillas ancho y otro estrecho.
- Dos desmenuzadoras y tres molinos, por lo que el número de mazas es 13.
- Fibra en caña con relación a la unidad = 0,14

Sustituyendo valores se tiene:

$$Q = 0,9 \frac{1,16 \cdot 5,88 (1 - 0,06 \cdot 5,88 \cdot 0,287) 0,375 \cdot 0,287^2 \sqrt{13}}{0,15} = 4,4 \text{ t/h}$$

Esto equivale a una molida diaria de 9177@.

Para el caso de la propuesta varían los diámetros de las mazas, sus longitudes, el % de fibra en caña no varía ni el índice de preparación, pero el número de mazas es el que corresponde a 4 molinos sin desmenuzadora, lo que equivale a un total de 12 mazas y se supone un aumento de la capacidad de molida por instalación de la tolva Donnelly de 17 %.

Como las dimensiones del molino desmenuzador no son las mismas que los demás molinos y en la literatura no se hace referencia a esto, entonces se utiliza la misma expresión general, calculándose primeramente la capacidad de molida para el molino desmenuzador y luego la de los demás molinos, al final se suman y dará la capacidad de molida del Tandem.

Por lo que se tiene:

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

Donde:

$Q_T$  - Capacidad de molida total

$Q_1$  - Capacidad de molida del molino desmenuzador

$Q_2$  - Capacidad de molida de los tres molinos.

Para el molino desmenuzador se tienen los siguientes datos:

$$c = 1.16$$

$$n = 4.63 \text{ rpm}$$

$$D = 0.406 \text{ m}$$

$$L = 0.457 \text{ m}$$

$$N = 3$$

$$f = 0.15$$

$$Q_1 = 1.17 * 0.9 * \frac{1.16 * 4.63 * (1 - 0.06 * 4.63 * 0.406) * 0.457 * 0.406^2 * \sqrt{3}}{0.15} = 4.36 \text{ T/h}$$

$$Q_2 = 0.9 * \frac{1.16 * 5.88 * (1 - 0.06 * 5.88 * 0.287) * 0.375 * 0.287^2 * \sqrt{9}}{0.15} = 3.4 \text{ T/h}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 = 4.36 + 3.4 = 7.76 \text{ T/h}$$

Ajustándose la molida a 5 T/h, esta equivale a una molida diaria de 10 435 @, o sea un incremento de 1258 @/día o bien un incremento de un 13 % aproximadamente en la capacidad de molida.

### 3.3.2- Cálculo de Potencia

La potencia se calculó teniendo en cuenta la fórmula de Hugot [10] que plantea:

$$N = \frac{n \cdot D}{1,34 \cdot \eta} \left\{ P \left[ 0,4 \frac{6r - 5}{\sqrt{r} (1 + \sqrt{r - 1})} \cdot \sqrt{\varepsilon_A} + 0,075 \right] + 4 \cdot L \right\}$$

Donde:

n – velocidad angular de las mazas, en rev/min.

D – diámetro de las mazas, en m

P – fuerza hidráulica total, en tm.

L – longitud de las mazas, en m.

$r$  – factor de reabsorción.

$\eta$ - eficiencia de la transmisión.

$\varepsilon_A$  - abertura dinámica de salida con relación al diámetro.

El factor de reabsorción puede ser calculado como:

$$r = k + 0,017 v + 0,65 \rho$$

Donde:

$k$  – constante que depende del molino y que asume los siguientes valores:

$k = 0,75$  para un primer molino.

$k = 0,65$  para un segundo molino. Donde la potencia se expresa en HP [kW].

El factor de reabsorción se define como la relación entre el volumen de bagazo por unidad de tiempo que pasa

$k = 0,60$  para los siguientes molinos.

$v$  – velocidad periférica de las mazas en m/min.

$\rho$  - densidad de la fibra a la salida del molino (Kg. /dm<sup>3</sup>).

La densidad de la fibra puede tomarse con los siguientes valores:

$\rho = (0,38 \text{ a } 0,55)$  para el primer molino.

$\rho = (0,8 \text{ a } 1,0)$  para el último molino.

Los valores intermedios se calculan por la media logarítmica.

Por su parte  $\varepsilon_A$  es la abertura específica de trabajo del molino, o sea, la relación entre el setting dinámico de salida del molino y el diámetro medio de la maza superior.

$$\varepsilon_A = S_S / D$$

En este caso  $S_S$  es la abertura de salida del molino en metros.

Para el presente caso se tomaron los mismos valores de diámetro de mazas y longitud que para el cálculo de las capacidades. En el caso de la velocidad angular, todos los molinos poseen una velocidad de 5,88 Rev/min., las desmenuzadoras poseen una velocidad angular de 6,61 Rev./min y el molino desmenuzador 4.63 Rev/min.

### 3.4- Hojas de Cálculos para las Dos Variantes

#### 3.4.1- Tabla para los datos del caso con dos desmenuzadoras y tres molinos

Las tablas que a continuación aparecen en el trabajo, fueron realizadas en el Excel (Ver Anexos 5 y 6).

Hoja de Cálculo para la Planta Piloto "José Martí"			Zafra 2001-2002			
Unidad de molida	D1	D2	1M	2M	3M	
Paso del rayado maza superior (mm)	25	25	25	25	25	
Ángulo del rayado maza superior	50	50	50	50	50	
paso del rayado maza inferior (mm)	25	25	25	25	25	
Ángulo del rayado maza inferior	50	50	50	50	50	
Fibra en caña (%)	0.15					
Velocidad Angular eq. Mot. (rev/min)	885	885	885	885	885	
Relación total de transmisión	133.9	133.9	150.6	150.6	150.6	
Largo de las mazas (m)	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	
Velocidad Angular de mazas (rev/min)	6.61	6.61	5.88	5.88	5.88	
Diam. ext. maza mot. (m)	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	
Profundidad del rayado (m)	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	
Diámetro med. maza mot. (m)	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	
Vel. Lin. maz.mot. (m/min)	5.96	5.96	5.31	5.31	5.31	
Capac. de Molida (calculada)en @s/día	8563					
Capac.de molida (ajustada), en @s/día	9200					
Tm de fibra/min.	0.010890					
Entrada/Salida moliendo	No	No	1.50	1.61	2.00	

<i>Punta de cuchilla /entrada moliendo</i>	No	No	1.40	1.48	1.75	
<i>Volumen unitario en la salida (m<sup>3</sup>/Tm)</i>	No	No	2.10	1.79	1.12	
<i>Volumen unitario en la entrada</i>	4.00	3.00	3.15	2.89	2.24	
<i>Vol. unitario en la punta de la cuchilla</i>	No	No	4.41	4.28	3.92	
<i>Volumen req. en la entrada (m<sup>3</sup>/min)</i>	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	
<i>Volumen requerido en la salida</i>	No	No	0.02	0.02	0.01	
<i>Vol. requerido en la punta cuchilla</i>	No	No	0.05	0.05	0.04	
<i>Superf de Maza. (m<sup>2</sup>/min)</i>	2.24	2.24	1.99	1.99	1.99	
<i>Ajuste din. a la ent. (mm)</i>	19.5	14.61	17.24	15.83	12.26	
<i>Ajuste din. a la sal. (mm)</i>	No	No	11.49	9.82	6.13	
<i>Ajust. Din punt. Cuch. (mm)</i>	No	No	24	23	21	
<i>Flotac. maza superior (mm)</i>	10	10	7	5	5	
<i>Variación abertura/flotación</i>	1.00	1.00	0.78	0.78	0.78	
<i>Variación de abertura</i>	10	10	5	4	4	
<i>Punta de cuch. VS Flotac.</i>	No	No	0.93	0.93	0.93	
<i>Variación punta cuchilla</i>	No	No	7	5	5	
<i>Entrada en vacío (mm)</i>	9	5	12	12	8	
<i>Salida en vacío.</i>	No	No	8	6	2	
<i>Punt de cuch. en vacío (mm)</i>	No	No	18	19	17	
<i>Factor de reabsorción.</i>	1.01	1.07	1.15	1.10	1.27	
<i>Fuerza Hidráulica total admisible(tm)</i>	80	80	80	80	80	
<i>Pres. Hidr. Espec. Recom. (TM/dm<sup>2</sup>)</i>	15	16	21	20	22	
<i>Fuerza Hid.Tot. para esta presión (Tm)</i>	17.44	18.60	24.41	23.25	25.58	
<i>Presión Hid. En la Línea (psig)</i>	1500	1500	2500	2500	2500	
<i>Diámetro de los Pistones (mm)</i>	127	127	127	127	127	
<i>Fuerza hidráulica total real (Tm)</i>	26.8	26.8	44.6	44.6	44.6	
<i>Pot. para esta presión (kW)</i>	10.45	9.54	19.80	18.30	17.12	75.21
<i>Cons. espec. Calc. (kW-h/Tm de caña)</i>	2.40	2.19	4.54	4.20	3.93	18
<i>Cons. espec.calc. (kW-h/Tm de fibra)</i>	16.00	14.60	30.30	28.00	26.20	115.10
<i>Pot. calc en la Comp. del bagazo (kW)</i>	2.80	2.22	4.22	3.69	4.26	17.18

<i>Eficiencia Mecánica Calculada (%)</i>	27	23	21	20	25	23
--	----	----	----	----	----	----

### **3.4.2-Tabla para los datos del caso con el molino desmenuzador y los tres molinos.**

<b>Hoja de Cálculo para la Planta Piloto "José Martí"</b>				<b>Propuesta</b>	
<i>Unidad de molida</i>	<i>1M</i>	<i>2 M</i>	<i>3M</i>	<i>4M</i>	
<i>Paso del rayado maza superior (mm)</i>	25	25	25	25	
<i>Angulo del rayado maza superior</i>	50	50	50	50	
<i>paso del rayado maza inferior (en mm)</i>	25	25	25	25	
<i>Angulo del rayado maza inferior</i>	50	50	50	50	
<i>Fibra % caña =</i>	0.15				
<i>Vel. Ang. eq. Mot.(rev/min)</i>	875	885	885	885	
<i>Relac. total de transmisión</i>	220.0	150.6	150.6	150.6	
<i>Largo de las mazas (m)</i>	0.457	0.375	0.375	0.375	
<i>Veloc. Ang.mazas (rev/min)</i>	4.63	5.88	5.88	5.88	
<i>Diam. ext. maza mot. (m)</i>	0.406	0.308	0.308	0.308	
<i>Profundidad del rayado (m)</i>	0.023	0.023	0.023	0.023	
<i>Diam. med. maza mot. (m)</i>	0.383	0.285	0.285	0.285	
<i>Vel. Lin. maz.mot. (m/min)</i>	5.57	5.27	5.27	5.27	
<i>Capac. de Molida (calculada)en (tm/h)</i>	8.15				
<i>Capac.de molida (ajustada), en (tm/h)</i>	5				
<i>Tm de fibra/min.</i>	0.0125				
<i>Entrada/Salida moliendo</i>	1.75	1.83	1.91	2.00	
<i>Punta de cuchilla /entrada moliendo</i>	0.75	0.99	1.32	1.75	
<i>Volumen unitario en la salida (m<sup>3</sup>/Tm)</i>	2.10	1.70	1.38	1.12	
<i>Volumen unitario en la entrada</i>	3.68	3.12	2.64	2.24	
<i>Vol. unitario en la punta de la cuchilla</i>	2.76	3.10	3.49	3.92	
<i>Volumen req. en la entrada (m<sup>3</sup>/min)</i>	0.046	0.039	0.033	0.028	
<i>Volumen requerido en la salida</i>	0.026	0.021	0.017	0.014	
<i>Vol. requerido en la punta cuchilla</i>	0.034	0.039	0.044	0.049	

<i>Superf de Maza. (m<sup>2</sup>/min)</i>	2.55	1.98	1.98	1.98	
<i>Ajuste din. a la ent. (mm)</i>	18.04	19.71	16.71	14.71	
<i>Ajuste din. a la sal. (mm)</i>	10.31	10.77	8.74	7.09	
<i>Ajust. Din punt. Cuch. (mm)</i>	14	20	22	25	
<i>Flotac. maza superior (mm)</i>	10	5	4	3	
<i>Variaciónabertura/flotación</i>	0.78	0.78	0.78	0.78	
<i>Variación de abertura</i>	8	4	3	2	
<i>Punta de cuch. VS Flotac.</i>	0.93	0.93	0.93	0.93	
<i>Variación punta cuchilla</i>	9	5	4	3	
<i>Entrada en vacío (mm)</i>	10	16	14	12	
<i>Salida en vacío.</i>	3	7	6	5	
<i>Punt de cuch. en vacío (mm)</i>	4	15	18	22	
<i>Factor de reabsorción.</i>	1.15	1.22	1.21	1.27	
<i>Fuerza Hidráulica total admisible<sup>TM</sup></i>	97	80	80	80	
<i>Fuerza Hid. Total admisible (T)</i>	22	18	18	18	
<i>Pres. Hidr. Espec.Recom. (TM/dm<sup>2</sup>)</i>	22	20	20	22	
<i>Fuerza Hid.Tot.para esta presión (Tm)</i>	41	23	23	25	
<i>Presión Hid.real en la Linea (psig)</i>	1200	2500	2500	2500	
<i>Díámetro de los Pistones (mm)</i>	190	127	127	127	
<i>Fuerza hidráulica total real (Tm)</i>	47.9	44.6	44.6	44.6	
<i>Pot. para esta presión ( kW)</i>	20.94	18.65	17.58	17.39	74.56
<i>Cons. espec. Calc. (kW-h/Tm de caña)</i>	4.19	4.10	3.87	3.83	16
<i>Cons. espec. Calc. (kW-h/Tm de fibra)</i>	27.92	24.87	23.44	23.19	99.42
<i>Pot. Calc en la Comp. del bagazo (kW)</i>	4.25	5.04	4.57	4.56	18.42
<i>Eficiencia Mecánica Calculada (%)</i>	20	25	24	24	23.25

Del análisis de las hojas de cálculos de las dos variantes se realizaron los tres gráficos que a continuación se presentan. Primeramente se analiza el diagnóstico de la situación actual, luego el de la propuesta y finalmente se realiza una comparación entre ambas variantes.

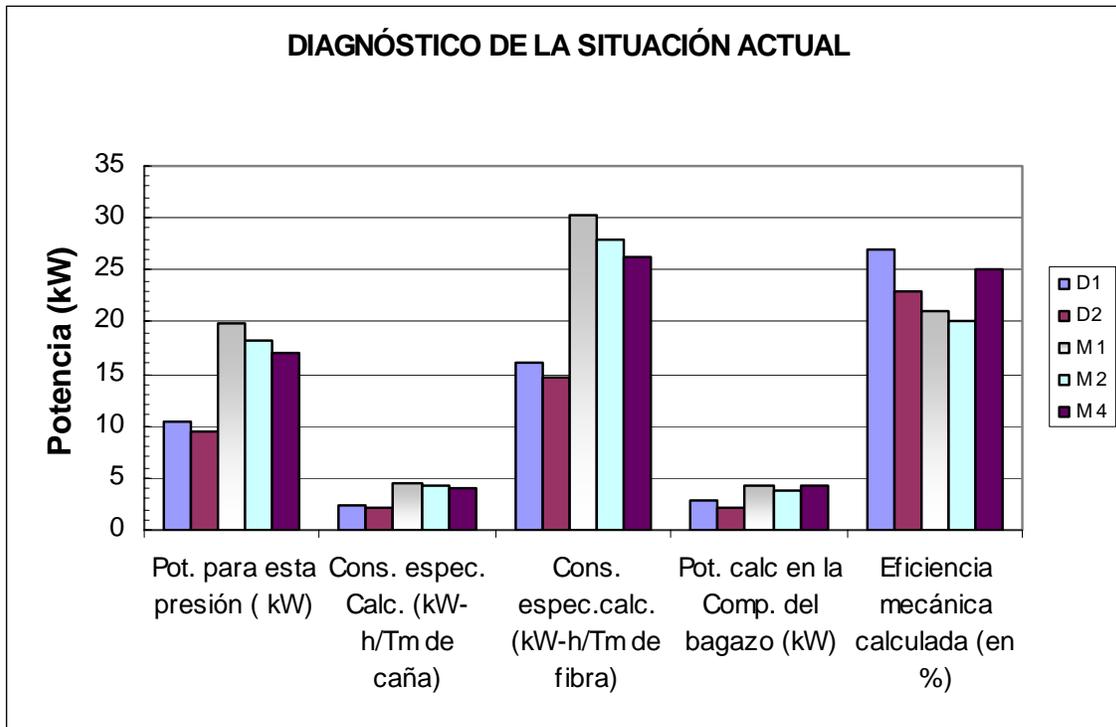


Gráfico 1- Diagnóstico de la situación actual.

Del diagnóstico de la situación actual se puede decir que los tres molinos son los de más consumo de potencia de forma general, siendo el primer molino el que más consume. Esto se debe a que el primer molino es el que mayor trabajo está realizando en este momento pues es el que mayor cantidad de jugo está extrayendo, teniendo como consecuencia que sea el molino que más se atora.

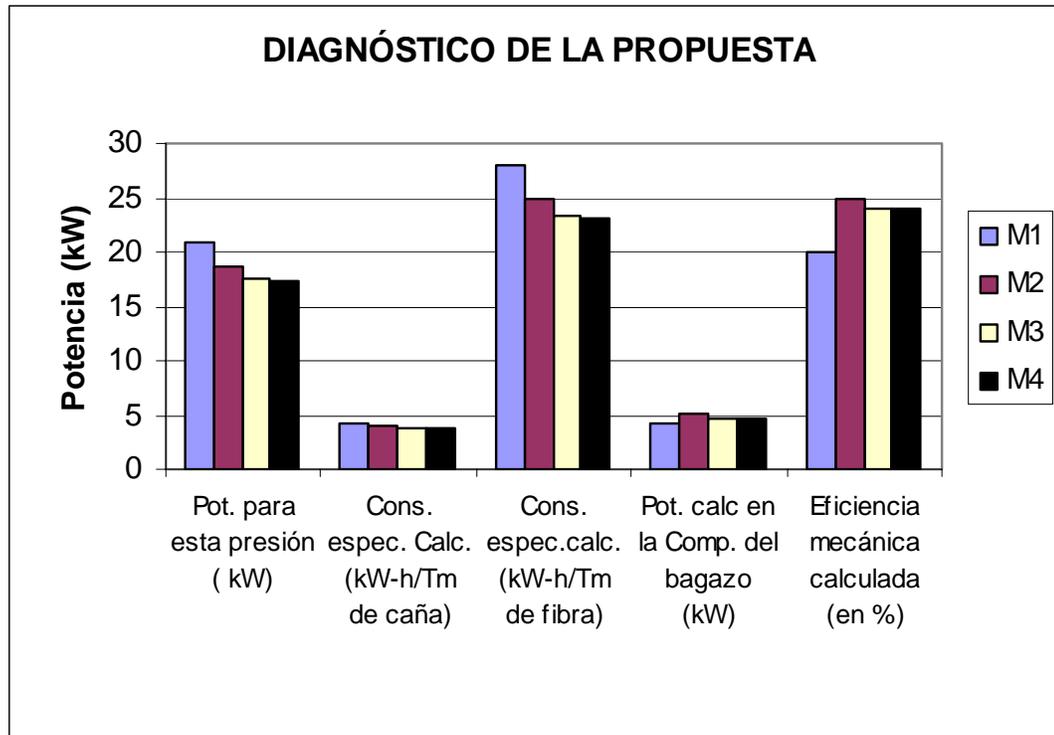


Gráfico 2- Diagnóstico de la propuesta.

En el diagnóstico de la propuesta el que mayor consumo de potencia tiene es el molino desmenuzador. Aunque el índice de consumo por tonelada de caña molida es menor que el de las dos desmenuzadoras.

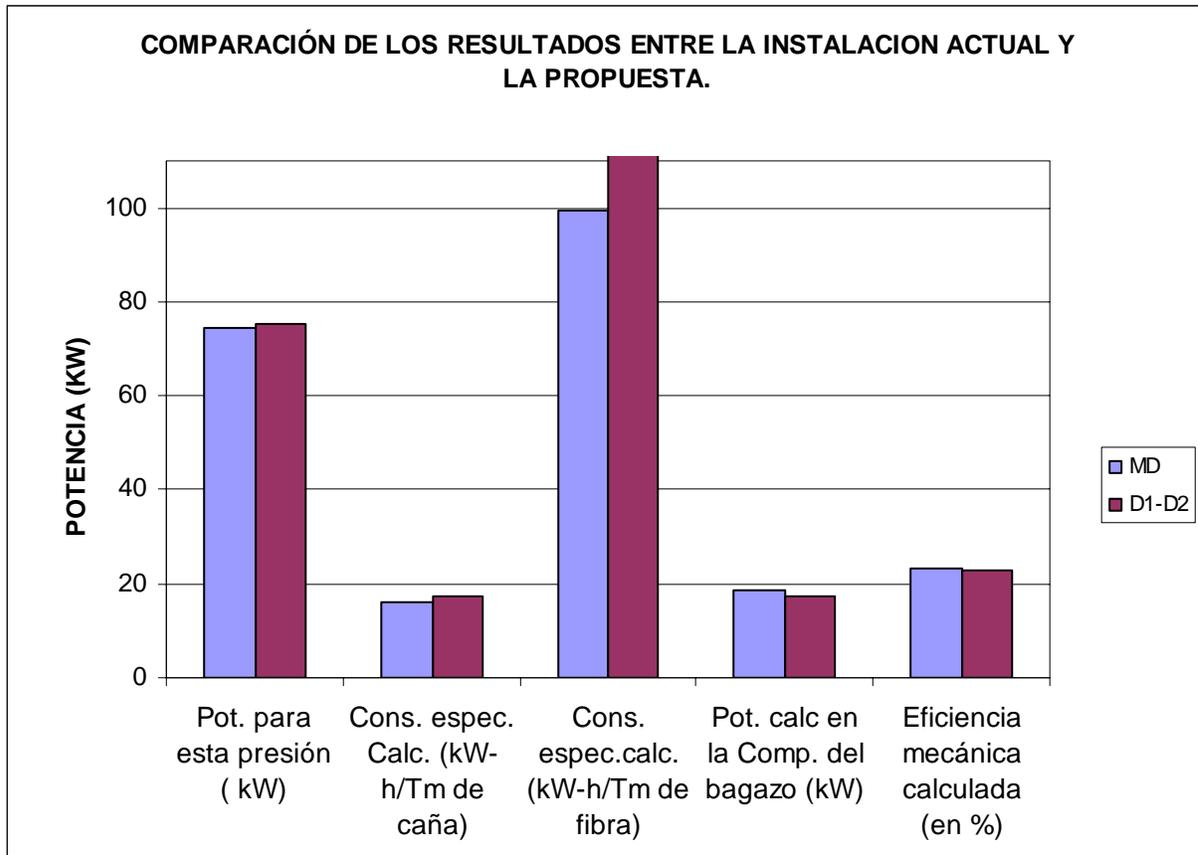


Gráfico 3- Comparación de los resultados.

En el análisis del gráfico 3 al comparar los resultados del diagnóstico de las dos variantes se puede decir que las dos desmenuzadoras son las que mayor índice de consumo de potencia por tonelada métrica de caña molida tienen. Por lo que se demuestra que hay un menor consumo de potencia en el área del Tandem.

Al analizar las ventajas que nos ofrece esta modificación que proponemos en el presente trabajo, se llevó a cabo la elaboración de los planos para este montaje los cuales se pueden ver en los anexos 1, 2, 3, y 4.

### **3.5- Fundamentación Económica**

Mediante las modificaciones que se efectuaron en este Capítulo, cuyos cálculos y tablas quedaron explícitos se pudo llegar a la conclusión que estos cambios traen considerables ventajas para la instalación. Para ello a continuación se mostraran la tablas y cálculos necesarios que demuestran lo antes dicho.

Si la capacidad actual es de 9177@ y se aumentará hasta 10435@,

$$Días = \frac{10435@ - 9177@}{9177@} * 45Días = 0.13 * 45 \approx 5 Días$$

Por lo que serían 5 días menos de zafra.

Entonces por razones de Capacidad la Planta se Ahorra en 5 Días menos:

$$USD Ahorrados = 300 kW * 24 h * 5 Días * 0.10 CUC = 3600 CUC.$$

Suponiendo:

- La zafra dura 40 días.
- Se trabajan tres turnos de ocho horas.
- Siendo el costo del kW= 0.10 CUC/kW-h

El índice de consumo de potencia será dado por el KW-h/Tm de caña:

$$\Delta N = N_{ACTUAL} - N_{MODIF.}$$

$$\Delta N = 18kW - h / Tm \text{ de caña} - 16kW - h / Tm \text{ de caña}$$

$$\Delta N = 2KW - h / Tm \text{ de caña}$$

$$\Delta N \times 5T / h = 10kW - h / h \times 24 h / dia = 240 Kw - h / dia$$

$$240 Kw - h / dia \times 40 dias / Zafra = 9600 - h / Zafra$$

$$9600kW - h / Zafra \times 0.10 CUC / kW - h = 960 CUC / Zafra$$

Por medio de esta vía la Planta Piloto se puede ahorrar 960 CUC/Zafra, esto sólo en cuestión de consumo de energía eléctrica en el tandem. Con esta nueva modificación se ahorra un estimado de un 13 % de los días de zafra, lo que equivale a 5 días.

Luego el Ahorro Total es de:

$$AT = \text{Ahorro por Concepto de Capacidad} + \text{Ahorro por Concepto de Potencia}$$

$$AT = 3600 \text{ CUC} + 960 \text{ CUC} = 4560 \text{ CUC}$$

Si a esto se le suma el ahorro en transportación más el ahorro en salario:

Son tres brigadas de 8 h cada una, con 20 personas cada brigada, cobrando a 8 CUP la jornada laboral se puede ahorrar:

$$\text{En salario: } 60 * 8 * 5 = 2400 \text{ CUP (moneda nacional)}$$

En combustible por concepto de transportación de obreros:

Cada viaje de ida y regreso son 60 Ltrs. Tres viajes diarios:

$$60 * 3 * 5 = 900 \text{ Ltrs.} * 0.5 \text{ CUC} = 450 \text{ CUC}$$

Suponiendo:

- Si el tiempo de empleo de los trabajadores que realizarán la modificación es de 7 días, lo que implica:
- costo de la brigada = \$700.00 CUP.
- Si el Costo del Molino Desmenuzador = 0
- Si el costo del motor de la desmenuzadora = 0.
- Si el costo del sistema de transmisión = 0.
- El costo de Materiales:
- Varillas: 1.25 CUC/kg, si se consumen 30kg = 37.5 CUC.
- Corriente: 7 Días a 8 hrs de trabajo, 20 kW de consumo a 0.10 CUC = 112 CUC.
- Otros Materiales: 50 CUC

Sumando todos estos factores se tiene:

$$\text{Costo Total} = \sum \text{CostoMateriales} + \text{CostosManoObra}$$

$$\text{Costo Total} \approx 200\text{CUC.} + 700 \text{ CUP.}$$

También como algo muy fundamental se logra aumentar el factor de potencia de la fábrica renglón de vital importancia en el costo de la energía eléctrica.

### **CONCLUSIONES PARCIALES**

1. Con la presente propuesta se logra aumentar la capacidad de molida hasta un 13 %, lo que llega a significar 5 días menos de molienda.
2. Se logra un ahorro de potencia pues el índice de consumo por tonelada de caña molida disminuye.
3. En cuanto a costo se puede decir que es totalmente viable pues el monto sería de unos 200 CUC y 700 CUP aproximadamente.

**CONCLUSIONES:**

- 1- Según muchos autores explican la tendencia actual en los Tandem a nivel mundial es la utilización de Tolvas Donelly en los molinos con la utilización de las cuartas masas, por lo que se puede decir que ya la utilización de las Desmenuzadoras es una tecnología obsoleta pues ya casi nadie las utiliza. Al igual que se prefiere la alimentación de los molinos por gravedad.
- 2- El proyecto elaborado por el ICINAZ consta de varias omisiones como son las dimensiones de altura de la Tolva Donelly y del molino desmenuzador, así como la inclinación del transportador de banda. El mismo se presenta como un proyecto en el cual se incluyen la instalación de dos tolvas una en el molino desmenuzador y otro en el primer molino para lo cual se necesita correr el área del Tandem dependiendo de un proyecto civil que esta en ejecución aún.
- 3- El presente trabajo se realiza la ejecución de una variante en la cual se pretende instalar el molino desmenuzador con su Tolva Donelly y su transportador de banda donde se encuentran las dos desmenuzadoras recortando el transportador de tablillas.
- 4- Con el diagnóstico del Transportador de Banda se llegó a la conclusión de que el mismo posee un correcto funcionamiento, lo cual queda evidenciado a través de su CUT de un 90 %.
- 5- El molino desmenuzador se debe montar donde se encuentra la 1ra desmenuzadora aprovechando así la alimentación por gravedad existentes hacia el 1er molino.
- 6- Con la capacidad ajustada a 5 T/h se puede valorar lo ventajoso de realizar el montaje del molino desmenuzador con Tolva Donelly, pues aumenta su capacidad molida en un 13 % lo que puede llegar a significar 5 días menos de molida.
- 7- Teniendo en cuenta los valores analizados en el cálculo de la potencia, se llega a que es de gran ventaja esta modificación pues solamente de electricidad se puede ahorrar 9600 Kw-h en una Zafra de 40 días lo que equivale a 960CUC, así como 2400 CUP por concepto de mano de obra, más 450 CUC por ahorro de combustible en transportación. Todo esto para un total de 1400 CUC y 2400

CUP ahorrados aproximadamente en una zafra, lo que comparado con el monto de inversión de 200 CUC y 700 CUP, se verifica una vez más la factibilidad de la propuesta.

**RECOMENDACIONES:**

1. Instalar el sistema que se recomendó en el presente trabajo y probarlo realizándole lecturas periódicas.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Martínez, R.C., Planta Piloto "José Martí ". Aspectos Históricos y características Técnicas. 1999.
2. Tromp, L.A., El Cálculo de las aberturas en los trapiches. 1931: Memorias del Congreso de La ATAC. La Habana.
3. Hugot, E., ed. Manual para ingenieros azucareros. ed. E.R.L. Habana. 1986.
4. Hugot, E., ed. Handbook of sugar cane engineering. ed. E.E.A. Holanda. 1986.
5. MINAZ, Manual de Planta Moledora. Ajuste de los Molinos. 1996.
6. M., O.J., ed. Máquinas de transporte continuo. ed. E.P.y. educación. 1988.
7. Pérez, C.E.E., Estudio del consumo de potencia en los molinos de caña. 1996., Universidad Central Marta Abreu de las Villas: Cuba.
8. Herrera, E., El consumo de potencia en los molinos. 1995.
9. Jenkin, D.M., Medición del Torque en los Molinos. Memorias del XVIII Congreso de la ISSCT, 1983.
10. Hugot, E., Manual para ingenieros azucareros. Revolucionaria ed. 1986, La Habana.
11. Currier, J.E., Preparación de la caña. International Sugar Journal, 1998.
12. Gupta, H.N. Mill hunting An investigation. 2000.
13. Riera, G., Estudio del Consumo de Energía en el área de preparación y molienda de un ingenio azucarero. Revista ATAC, 1998.
14. Hugot, E., ed. Handbook of Cane Sugar Engineering. ed. E.E.N. York. 1980.
15. Herscovici, S., Caja de engranes de tipo planetario de alta potencia para reducir los costos de funcionamiento y mejorar la eficiencia de los molinos. Revista International Sugar Journal, 1996.
16. Shield, A.G., A new hydraulic drive unit for a 2,13 m crushing mill. Sugar Cane Technologists, 1995.
17. Cant, C., Mill pressure feeders and alternative drive methods. International Sugar Journal, 1996.
18. Muñoz, G.L.J., Análisis del Comportamiento Mecánico del Molino. Revista International Sugar Journal, 1996.

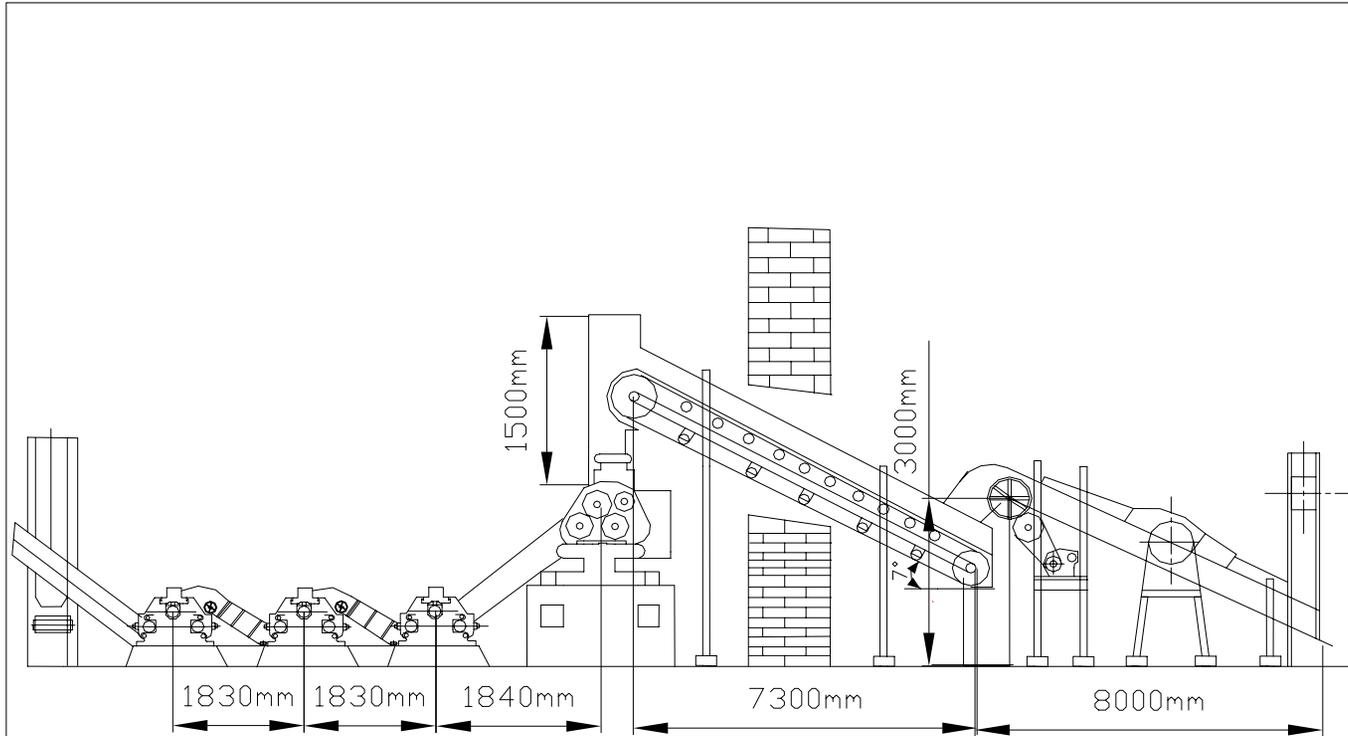
19. Pérez, C.E.E., Maquinaria Azucarera. 1997.
20. ICINAZ, Molino a instalar en la Planta Piloto Proyecto, 2006.
21. Polo, L., Análisis para la modificación del Tandem de la Planta Piloto José Martí e instalación de una Tolva Donelly, in Departamento de CAD-CAM. 2005, Universidad central Marta Abreu de las Villas: Santa Clara.

### **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

1. Ahmad, M.M. Does milling capacity depends on the tandems length. 1997.
2. Anandharaj, R., Methodology of efficient higher utilization with existing mills. SISSTA Sugar Journal, 1992.
3. Annand, M., Mill roller grooving need for rethinking. Bharatiya Sugar, 1989.
4. Baranov, G.G., ed. Curso de la Teoría de Mecanismos Y Máquinas. ed. E.M. Moscú. 1979.
5. Biswas, M.K., Sanjary, New concept in cane feeding control. 1999.
6. Cuba, A.d.l.c.e., Programa de Desarrollo Energético sostenible. 2003.
7. Dobrovolski, V., ed. Elementos de Máquinas. ed. E.M. Moscú. 1980.
8. Ecoazurcar. La Agroindustria Azucarera en Cuba. Transformaciones y Perspectivas. 2004.
9. Fonseca, A.V., et al., El uso de los Resíduos Agrícolas Cañeros, RAC, como combustibles en Cuba. 2005.
10. Hidalgo, R.P.P., Reparación y Mantenimiento de los equipos de la Industria Azucarera. 1983.
11. Jenkin, G.H., Introducción a la Tecnología de Azúcar de Caña. 1988.
12. L.Negrín, Alimentación de los Molinos. 2000.
13. Lebron, J.L., Procedure to fit a fourth roll to the conventional (3 roll) mill. 1992.
14. MINAZ, Criterios actuales de la industria azucarera cubana. Dirección de Maquinaria Industrial. La Habana, 1995.
15. MINAZ, Manual de operaciones de la planta moledora. La Habana, 1996.

16. Pérez, C.E.E., Determinación de valores de la potencia en molinos de caña de azúcar. 2000.
17. Ramcharan, S., Installation of an under mill feed roller on a three roll crusher. 1991.
18. V., P.D.M., Aplicación de un modelo factorial de experimentación en un ingenio azucarero del valle de cauca. Scientia et Technica, 2006.

# ANEXO # 1

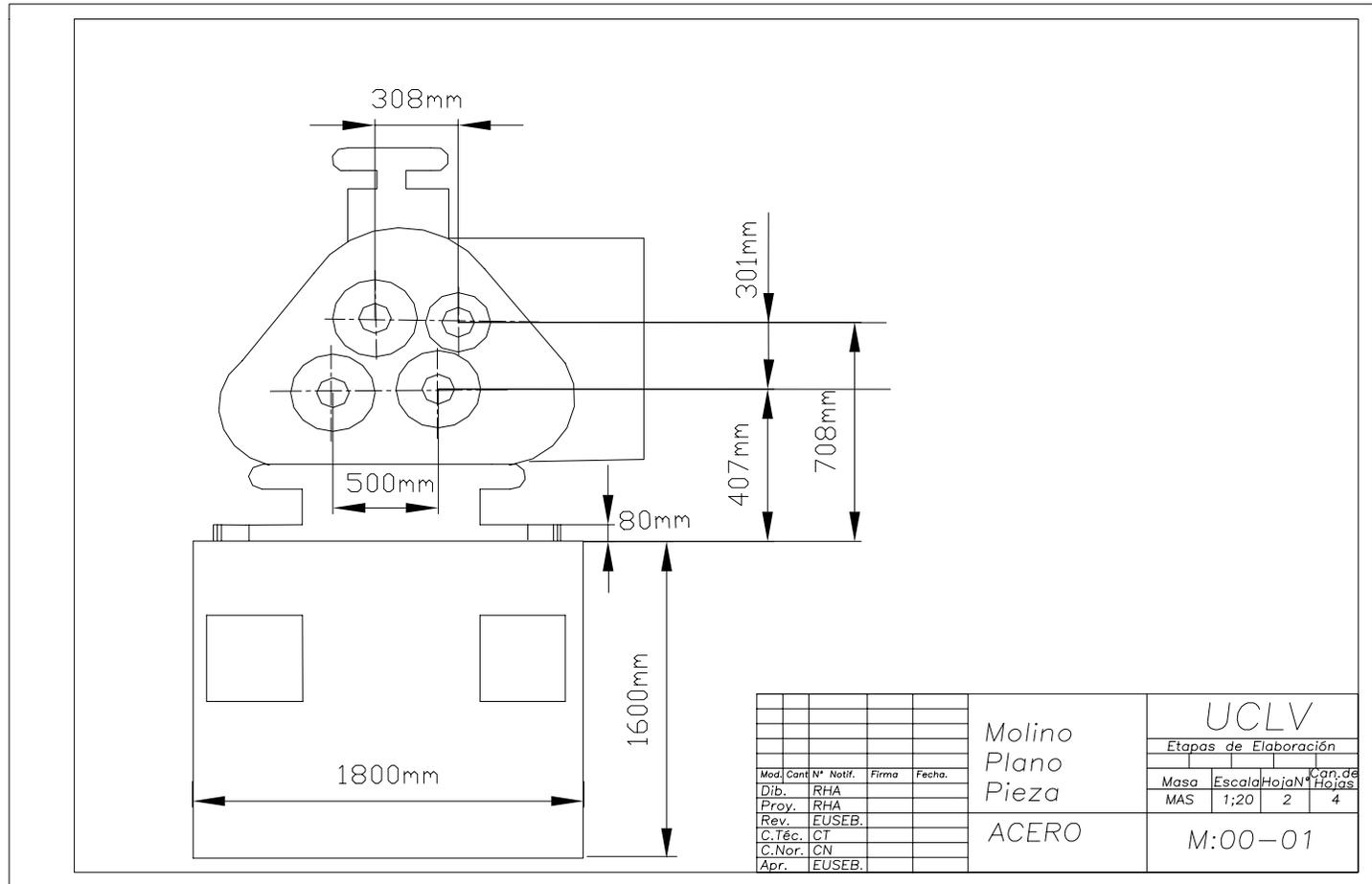


Mod.	Cant.	N° Notif.	Firma	Fecha.
Dib.	RHA			
Proy.	RHA			
Rev.	EUSEB.			
C.Téc.				
C.Nor.				
Apr.	EUSEB.			

Propuesta del  
Tandem.  
Plano  
Ensamble

UCLV			
Etapas de Elaboración			
Masa	Escala	HojaN°	Can.de Hojas
MAS	1.100	1	4
PE:00-00			

## ANEXO # 2









## ANEXO # 5

Microsoft Excel - Ultima version.

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

G11

	A	B	C	D	E	F
1	Hoja de Cálculo para la Planta Piloto "José Martí" Zafra 2004					
2	Unidad de molida	D1	D2	1M	2M	4M
3	Paso del rayado maza superior (mm)	25	25	25	25	25
4	Angulo del rayado maza superior	50	50	50	50	50
5	paso del rayado maza inferior (en mm)	25	25	25	25	25
6	Angulo del rayado maza inferior	50	50	50	50	50
7	Fibra % caña =	0,15				
8	Vel. Ang. eq. Mot.(rev/min)	885	885	885	885	885
9	Relac. total de transmisión	133,9	133,9	150,6	150,6	150,6
10	Largo de las mazas (m)	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
11	Veloc. Ang.mazas (rev/min)	6,61	6,61	5,88	5,88	5,88
12	Diam. ext. maza mot. (m)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
13	Profundidad del rayado (m)	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023
14	Diam. med. maza mot. (m)	0,287	0,287	0,287	0,287	0,287
15	Vel. Lin. maz.mot. (m/min)	5,96	5,96	5,31	5,31	5,31
16	Capac. de Molida (calculada)en @s/día	8563				
17	Capac.de molida (ajustada), en @s/día	9200				
18	Tm de fibra/min.	0,010890				
19	Entrada/Salida moliendo	No	No	1,50	1,61	2,00
20	Punta de cuchilla /entrada moliendo	No	No	1,40	1,48	1,75
21	Volumen unitario en la salida (m <sup>3</sup> /Tm)	No	No	2,10	1,79	1,12
22	Volumen unitario en la entrada	4,00	3,00	3,15	2,89	2,24
23	Vol. unitario en la punta de la cuchilla	No	No	4,41	4,28	3,92
24	Volumen req. en la entrada (m <sup>3</sup> /min)	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
25	Volumen requerido en la salida	No	No	0,02	0,02	0,01
26	Vol. requerido en la punta cuchilla	No	No	0,05	0,05	0,04
27	Superf de Maza. (m <sup>2</sup> /min)	2,24	2,24	1,99	1,99	1,99
28	Ajuste din. a la ent. (mm)	19,5	14,61	17,24	15,83	12,26
29	Ajuste din. a la sal. (mm)	No	No	11,49	9,82	6,13
30	Ajust. Din punt. Cuch. (mm)	No	No	24	23	21
31	Flotac. maza superior (mm)	10	10	7	5	5
32	Variaciónabertura/flotación	1,00	1,00	0,78	0,78	0,78

33	Variación de abertura	10	10	5	4	4	
34	Punta de cuch. VS Flotac.	No	No	0,93	0,93	0,93	
35	Variación punta cuchilla	No	No	7	5	5	
36	Entrada en vacío (mm)	9	5	12	12	8	
37	Salida en vacío.	No	No	6	6	2	
38	Punt de cuch. en vacío (mm)	No	No	18	19	17	
39	Factor de reabsorción.	1,01	1,07	1,15	1,10	1,27	
40	Fuerza Hidráulica total admisible™	80	80	80	80	80	
41	Pres. Hidr. Espec.Recom. (TM/dm2)	15	16	21	20	22	
42	Fuerza Hid.Tot.para esta presión (Tm)	17,44	18,60	24,41	23,25	25,58	
43	Presión hid. En la línea (psig)	1500,00	1500,00	2500,00	2500,00	2500,00	
44	Diámetro de los pistones (mm)	127,00	127,00	127,00	127,00	127,00	
45	Fuerza hidráulica total real (Tm)	26,8	26,8	44,6	44,6	44,6	
46	Pot. para esta presión ( kW)	10,45	9,54	19,80	18,30	17,12	75,21
47	Cons. espec. Calc. (kW-h/Tm de caña)	2,40	2,19	4,54	4,20	3,93	17,26
48	Cons. espec.calc. (kW-h/Tm de fibra)	16,00	14,60	30,30	28,00	26,20	115,10
49	Pot. calc en la Comp. del bagazo (kW)	2,80	2,22	4,22	3,69	4,26	17,18
50	Eficiencia mecánica calculada (en %)	27	23	21	20	25	23

## ANEXO # 6

Microsoft Excel - Ultima version.						
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?						
D56						
	A	B	C	D	E	F
1	Hoja de Cálculo para la Planta Piloto "José Martí"			Propuesta		
2	Unidad de molida	1M	2M	3M	4M	
3	Paso del rayado maza superior (mm)	25	25	25	25	
4	Angulo del rayado maza superior	50	50	50	50	
5	paso del rayado maza inferior (en mm)	25	25	25	25	
6	Angulo del rayado maza inferior	50	50	50	50	
7	Fibra en caña (%)	0,15				
8	Vel. Ang. eq. Mot.(rev/min)	875	885	885	885	
9	Relac. total de transmisión	220,0	150,6	150,6	150,6	
10	Largo de las mazas (m)	0,457	0,375	0,375	0,375	
11	Veloc. Ang.mazas (rev/min)	4,63	5,88	5,88	5,88	
12	Diam. ext. maza mot. (m)	0,406	0,308	0,308	0,308	
13	Profundidad del rayado (m)	0,023	0,023	0,023	0,023	
14	Diam. med. maza mot. (m)	0,383	0,285	0,285	0,285	
15	Vel. Lin. maz.mot. (m/min)	5,57	5,27	5,27	5,27	
16	Capac. de Molida (calculada)en tm/h	8,15				
17	Capac.de molida (ajustada), en tm/h	5,00				
18	Tm de fibra/min.	0,0125				
19	Entrada/Salida moliendo	1,75	1,83	1,91	2,00	
20	Punta de cuchilla /entrada moliendo	0,75	0,99	1,32	1,75	
21	Volumen unitario en la salida (m <sup>3</sup> /Tm)	2,10	1,70	1,38	1,12	
22	Volumen unitario en la entrada	3,68	3,12	2,64	2,24	
23	Vol. unitario en la punta de la cuchilla	2,76	3,10	3,49	3,92	
24	Volumen req. en la entrada (m <sup>3</sup> /min)	0,046	0,039	0,033	0,028	
25	Volumen requerido en la salida	0,026	0,021	0,017	0,014	
26	Vol. requerido en la punta cuchilla	0,034	0,039	0,044	0,049	
27	Superf de Maza. (m <sup>2</sup> /min)	2,55	1,98	1,98	1,98	
28	Ajuste din. a la ent. (mm)	18,04	19,71	16,71	14,17	
29	Ajuste din. a la sal. (mm)	10,31	10,77	8,74	7,09	
30	Ajust. Din punt. Cuch. (mm)	14	20	22	25	
31	Flotac. maza superior (mm)	10	5	4	3	
32	Variaciónabertura/flotación	0,78	0,78	0,78	0,78	
33	Variación de abertura	8	4	3	2	
34	Punta de cuch. VS Flotac.	0,93	0,93	0,93	0,93	

35	Variación punta cuchilla	9	5	4	3	
36	Entrada en vacío (mm)	10	16	14	12	
37	Salida en vacío.	3	7	6	5	
38	Punt de cuch. en vacío (mm)	4	15	18	22	
39	Factor de reabsorción.	1,15	1,22	1,21	1,27	
40	Fuerza Hidráulica total admisible (tm)	97	80	80	80	
41	Fuerza Hidráulica total admisible (t)	22	18	18	18	
42	Pres. Hidr. Espec.Recom. (t/dm <sup>2</sup> )	22,0	20,0	20,0	22,0	
43	Fuerza Hid.Tot.para esta presión (t)	41	23	23	25	
44	Presión hid. real en la línea psig	1200,00	2500,00	2500,00	2500,00	
45	Diámetro de los pistones (mm)	190	127	127	127	
46	Fuerza hidráulica total real (t)	47,9	44,6	44,6	44,6	
47	Pot. para esta presión ( kW)	20,94	20,52	19,34	19,13	79,92
48	Cons. espec. Calc. (kW-h/Tm de caña)	4,19	4,10	3,87	3,83	15,98
49	Cons. espec.calc. (kW-h/Tm de fibra)	27,92	27,36	25,78	25,51	106,56
50	Pot. calc en la Comp. del bagazo (kW)	4,25	5,04	4,57	4,56	18,42
51	Eficiencia mecánica calculada (en %)	20	25	24	24	23,08