

T  
664.1  
DQU.



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**"Elaboración de un Programa de Simulación de Molienda  
en el Ingenio Azucarero San Carlos, para Determinar la  
Eficiencia por Molinos de un Trapiche."**

**TESIS DE GRADO**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

Alvaro Enrique **Quendo** Canizales

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**AÑO**

**2000**



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F.I.M.C.F.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial a las jefaturas de Fábrica, Laboratorio de Producción, y Control de Calidad, por el apoyo brindado en todo momento.

Al Ing. Manuel Helguero Director de Tesis y a todas las personas que de una u otra forma han presentado su invaluable ayuda en la realización de este trabajo.

# DEDICATORIA



A,

MIS PADRES

MI HERMANO

MI ESPOSA

MI HIJA

## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

**Ing. Mario Patiño A.**  
**Sub-Decano de la FIMCP**



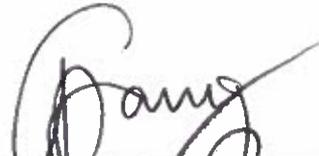
---

**Ing. Manuel Helguero G.**  
**Director de Tesis**



---

**Ing. Ernesto Martínez L.**  
**Vocal**



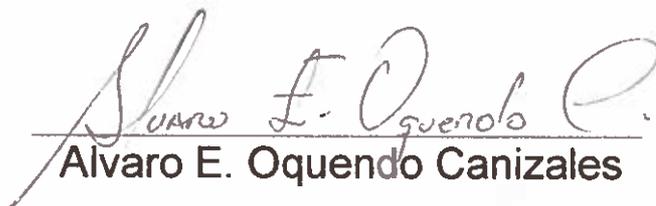
---

**Dr. Alfredo Barriga R.**  
**Vocal**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“ La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

  
Alvaro E. Oquendo Canizales

## RESUMEN

Uno de los principales objetivos de la industria azucarera San Carlos, está centrado la obtención de la mayor y mejor extracción del jugo de la caña en cada molino de los Trapiches, dado que en el jugo se encuentra el producto final, el azúcar.

Al inicio de esta exposición se observará una descripción del proceso extracción y fabricación del azúcar, luego se mencionan algunos parámetros de operación con lo que se pretende dar una idea global de que es lo que se persigue en este trabajo. Se intenta que este trabajo sea aplicable a otras plantas en el país con similares características técnicas.

En el presente trabajo se elaborará un programa para determinar el ajuste inicial de los molinos de un trapiche y los parámetros que se deben emplear para obtener una molienda eficiente, también se podrá analizar el comportamiento de variables velocidad y presión en el proceso, y en la transmisión de los molinos de cada Trapiche.

Paralelamente se realizan análisis de laboratorio, en puntos específicos del proceso, con las variables presión hidráulica, velocidades de molinos previamente establecidas. Se observan las tendencias de eficiencia de extracción y se generan conclusiones y recomendaciones.

El programa en si, consta de varias hojas de cálculos en Excel vinculadas, en las que se puede navegar con mucha facilidad. Cada hoja tiene un objetivo determinado, siendo estos los siguientes:

1. Calcular la calibración que debe tener el trapiche al inicio de la zafra, tomando en cuenta la calidad y la cantidad de caña a moler.
2. Establecer las variables velocidad y presión recomendadas para procesar una determinada cantidad de caña con la calibración inicial.
3. Jugar con las variables velocidad y presión en cada molino, para observar que ocurre en este y como repercute su acción en los demás desde el punto de vista mecánico.
4. Recoger cierta clase de datos obtenidos en el laboratorio con las variables velocidad y presión determinadas, analizarlos y determinar desde el punto de vista práctico donde existe una alteración del proceso.

Al final de la obra se encuentran algunos términos aceptados por la real academia de la lengua, "anglicismos", y "barbarismos" empleados por muchos años en los ingenios, con el fin de familiarizar al lector con el lenguaje empleado en la industria azucarera.

# INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	II
INDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	IV
SIMBOLOGIA .....	V
INDICE DE FIGURAS .....	VI
INDICE DE TABLAS .....	VII
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>I. PROCESO TECNICO TECNOLOGICO EN LA INDUSTRIA</b>	
<b>AZUCARERA</b>	3
1.1 Origen y definición de azúcar	5
1.2 Descripción del proceso	6
<b>II. PARAMETROS DEL PROCESO DE LA MOLIENDA</b>	15
2.1 Extracción	15
2.1.1 Preparación de la caña	16
2.1.2 Altura del colchón de caña	17
2.1.3 Flotación de las mazas superiores	18
2.1.4 Atascamiento en los molinos	22
2.1.5 Ranurado de las mazas	23
2.1.6 Drenaje del jugo en las mazas	23

2.1.7	Peines raspadores	25
2.1.8	Rugosidad de las mazas	26
2.1.9	Desgaste de las mazas	27
2.1.10	Platos de los molinos y arrastradores de jugo	28
2.2	Presión en los molinos	28
2.2.1	Generalidades	29
2.2.2	Presión medida en el bagazo	30
2.2.3	Descomposición de la presión de un molino en marcha	31
2.2.4	Relación entre la compresión del bagazo y la presión necesaria para obtenerla	32
2.3	Velocidad de los molinos	38
2.3.1	Generalidades	39
2.3.2	Empleo de la velocidad lineal y velocidad de Rotación	41
2.3.3	Velocidades máximas	43
2.3.4	Velocidades prácticas comunes	49
2.4	Control de los molinos	49
2.4.1	Imbibición	50
2.4.2	Curvas de Brix	54
2.4.3	Pol en el bagazo	56
2.4.4	Humedad en el bagazo	59

2.4.5 Extracción reducida	61
3. RECOLECCION DE DATOS	63
3.1 Determinación de los parámetros a medir	63
3.2 Selección de la metodología a seguir	64
3.3 Toma de datos	65
3.4 Elaboración del programa de simulación de molienda	67
4. ANALISIS DE RESULTADOS	72
4.1 Interpretación de resultados	72
4.2 Correcciones operacionales en el proceso	90
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
APENDICES	
BIBLIOGRAFIA	

## ABREVIATURAS

$A_b$	Superficie del bagazo
B	Tonelaje de bagazo
C	Máxima compresión
c	Relación de compresión del bagazo
$C_{eq}$	Coefficiente de descarga
d	Densidad específica del bagazo
D	Diámetro de Maza Superior
f	Contenido de la fibra por unidad del bagazo
Gps	Galones por segundo
h	Altura del bagazo comprimido
H	Altura del colchón de caña
k	Espesor bagazo salida del molino
L	Longitud de rodillos (metros)
N	Número de cilindros de batería
N	Velocidad R.P.M.
q	Peso de la fibra por unidad de superficie del cilindro
Q	Caudal
$q_{uc}$	Peso de la fibra por unidad de volumen de bagazo comprimido

$q_{us}$	Peso de la fibra por unidad de volumen de bagazo suelto
R.p.m.	Revoluciones por minuto
$S_c$	Superficie periférica del cilindro
$T_B$	Potencia consumida por el bagazo
TCD	Toneladas de caña diarios
TMC/Día	Tonelada métricas de caña Día
$TMC_t$	Capacidad de molienda por unidad de tiempo
V	velocidad de rodillos (m/min)

## SIMBOLOGIA

$\varepsilon$	Incremento de extracción
$\phi$	Inclinación de la virgen
$v$	Volumen específico bagazo
$\delta$	Densidad de la fibra de caña ( $\text{kg/cm}^3$ ) a una presión $p$
$\delta^l$	Densidad del jugo ( $\text{kg/cm}^3$ ) a una presión $p$
$\delta_i$	Densidad del bagazo comprimido en ( $\text{kg/m}^3$ )
$\varphi$	Constante proporcional
$\zeta$	Coefficiente numérico

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1 Estructura química de la sacarosa	6
Figura 2.1 Diagrama de fuerzas, descomposición de la presión	31
Figura 2.2 Presiones en el molino	34
Figura 2.3 Flujo del jugo extraído	40
Figura 2.4 Compresión del bagazo	46
Figura 3.1 Esquema del programa simulación	70

## INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla I Factores de Os y Ks del método brasileño	19
Tabla II Desalojo de jugos	24
Tabla III Velocidades comunes en el Ingenio San Carlos	49
Tabla IV Calibración de molinos a 3000 TMC/Día en dos fases (rezagada y de año)	74
Tabla V Calibración de molinos a 4000 y 5000 r.p.m. TMC/Día (caña de año)	75
Tabla VI Relación de velocidades y presiones recomendadas	77
Tabla VII - a Parámetros de molienda a 4000 TMC/Día, Trapiche A	78
Tabla VII - b Parámetros de molienda a 4500 TMC/Día, trapiche A	80
Tabla VIII Parámetros de molienda para 8200 TMC/Día, Trapiche B	81
Tabla IX Rendimiento en función de la variación de la humedad del bagazo	82
Tabla X - a Eficiencia del trapiche A real	85
Tabla X - b Eficiencia del Trapiche A calculada con el Simulador	86
Tabla XI - a Eficiencia del trapiche B real	87
Tabla XI - b Eficiencia del Trapiche B calculada con el Simulador	88

## INTRODUCCIÓN.

Actualmente la apertura de fronteras con los países del Pacto Andino y la situación que actualmente nos afecta, a hecho que los ingenios azucareros del Ecuador se preocupen en aumentar su capacidad y de mejorar la calidad de su producto.

El intentar aumentar la capacidad invita a invertir grandes cantidades de dinero, por eso primero se ha mirado en como optimizar los recursos de los cuales se dispone para obtener el máximo provecho.

Como referencia cabe indicar que en Ecuador existen 5 Ingenios Azucareros de los cuáles 2 de los 3 más importantes se encuentran en la provincia del Guayas. Estos deben competir en precios y en calidad en el mercado local, con un gran número de ingenios colombianos, peruanos y brasileños.

El Ingenio San Carlos cuenta con dos Trapiches ambos con dos picadoras de caña. El más antiguo tiene una desmenuzadora y seis molinos de tres rodillos cada uno, el moderno tiene sólo cuatro molinos con cuatro mazas cada uno. Se elaborará un programa de simulación de molienda de la caña de azúcar, en el que se determinara los parámetros que deben ser usados en el proceso de extracción del jugo de la caña en cada Trapiche. El programa

de simulación será de gran ayuda para poder optimar el proceso de extracción del jugo.

El proyecto contará con dos funciones específicas:

1. Encontrar los parámetros técnicos básicos para el funcionamiento de trapiche en el proceso, y analizar el comportamiento individual de cada molino y su efecto sobre los demás.
2. Utilizar análisis de laboratorio en puntos específicos del proceso, para analizar e interpretar dichos resultados.

Para formar este trabajo se ha usado conceptos ya encontrados en la industria azucarera, los mismos que han sido aplicados y acondicionados para el proceso específico en los trapiches detallados anteriormente.

# CAPITULO 1



## 1. PROCESO TECNICO TECNOLOGICO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA.

Hablar del azúcar es hablar de la remolacha azucarera y de la caña de azúcar. El cultivo y la extracción del azúcar de remolacha no se desarrollan hasta la época de Napoleón. La ruta de la caña ha sido siempre de oriente a occidente, desde el Indico del Mediterráneo y, finalmente al Atlántico.

Con el descubrimiento de América, el azúcar viaja de manos de los conquistadores españoles a Santo Domingo, donde se cultiva por primera vez a gran escala, llegando, más tarde, a Cuba y a México. Paralelamente, otros españoles en sus viajes favorecen la expansión a zonas asiáticas y archipiélagos del Pacífico. De manos de los Portugueses la caña de azúcar llega a Brasil.

A finales del siglo XVII la producción y el consumo de azúcar de caña se encontraba extendido prácticamente por todo el mundo. Un siglo más tarde,

en 1705, el químico francés Oliver Serrés, descubre las propiedades de la remolacha azucarera, y pocas décadas más tarde, el alemán Margraf logra extraer y solidificar el azúcar de esta planta, dando origen a la instalación de las primeras fábricas de azúcar de remolacha.

Así, a comienzos del siglo XIX Napoleón Bonaparte impulsó, a través de sus campañas, la difusión del alimento y potenció el cultivo de la raíz de la remolacha y la construcción de azucareras en Francia, política que siguieron otras naciones de Europa Central y Alemania. En España se comienza a sembrar la remolacha a finales del siglo pasado.

A lo largo de la historia, el azúcar se ha manifestado como un producto de temprana e intensa vocación mercantil. A ello ha contribuido las limitaciones climáticas para el cultivo de la caña de azúcar, como su creciente presencia en la alimentación humana.

El azúcar es en la actualidad un alimento habitual en la dieta de todos los países. Reivindicado por científicos expertos internacionales, es considerado hoy como uno de los principales aportes energéticos para el organismo.

### 1.1. Origen y definición de azúcar.

Las primeras referencias del azúcar se remontan a casi 5.000 años, a España no llega sino hasta la edad media. El azúcar llega hasta Persia donde los soldados del Rey Darío fascinados por sus propiedades la denominan "esa caña que da miel sin necesidad de abejas.

Su desembarco en Europa se produce en el siglo IV a. C., a raíz de los viajes y conquistas de Alejandro Magno a través de Asia. Mas tarde los griegos la dejan de herencia al imperio Romano, que la denominara "sal de la india".

El azúcar se produce en las hojas de todas las plantas que existen, se forma por el proceso llamado fotosíntesis, mediante la acción del sol en la combinación de bióxido de carbono y agua en las células que contienen clorofila.

La estructura molecular de la SACAROSA se define como sigue:  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , es decir, que se combinan 12 átomos de carbono, 22 de hidrógeno y 11 de oxígeno, o dicho de otra manera 12 átomos de carbono con 11 de agua, razón por la cuál surgió el nombre genérico de hidratos de carbono o carbohidratos.

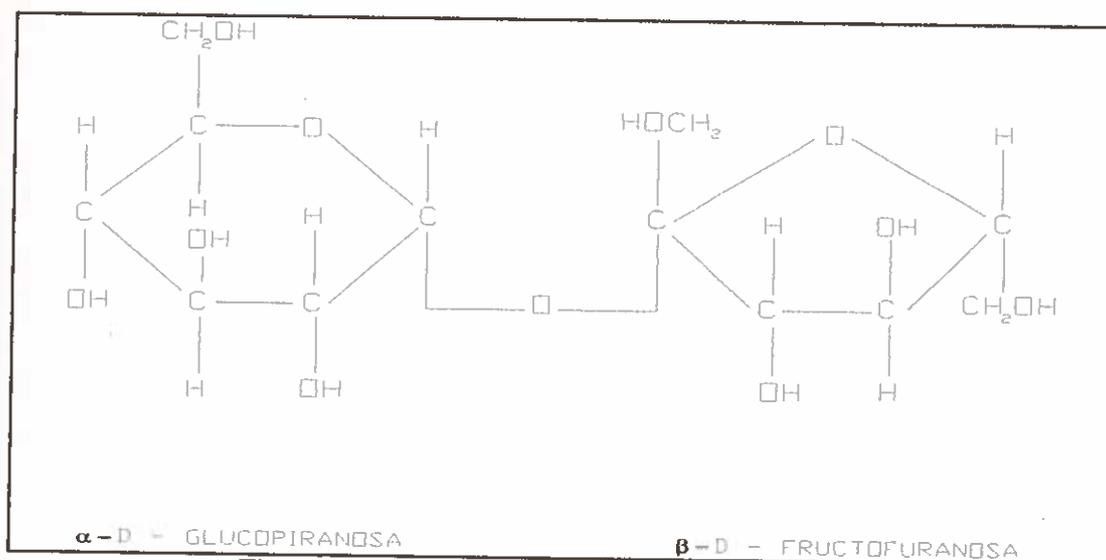


Figura 1.1. - Estructura química de la SACAROSA

## 1.2. Descripción del proceso.

La fábrica realiza labores de producción en forma continua durante aproximadamente 200 días de zafra, la planta tiene dos paradas programadas durante este periodo dirigido a corregir daños que no pueden ser reparados con la fábrica en funcionamiento,

El proceso se inicia en el campo donde la caña es quemada y cortada, esta se transporta a la fábrica por medio de camiones en cantidades aproximadas a 10 toneladas de caña por viaje, y por carretones con capacidad de 8 toneladas, los mismos que son halados por tractores, estos arrastran cargas hasta de 36 toneladas.

La recepción de las cañas se realiza en las básculas, una destinada para camiones y otra a las carretas o carretones.

La descarga de la caña transportada por los camiones, se realiza en una plataforma que abate por medio de un par de pistones hidráulicos y pivotea en tres charnelas colocadas en uno de los extremos, la plataforma logra alcanzar una inclinación de 45 °.

Para descargar los carretones se utilizan dos pistones hidráulicos que toman a este transporte lateralmente y lo pivotea sobre dos charnelas que forman parte de la estructura del carretón, unos transportadores denominados conductores que están dotados de cadenas sinfín, de variados diseños, trasladan la caña hacia los molinos.

En los conductores la caña primero es lavada con agua usando unas bandejas que permiten una uniformidad permanente del chorro que se usa para este efecto, luego se desfibra la materia prima usando dos juegos de machetes giratorios chancadores ubicados uno a continuación del otro, cabe notar que la preparación de la caña es muy importante para la extracción futura del jugo en los molinos.

El principio que se persigue en los trapiches mediante el uso de los molinos es separar los dos elementos principales que constituyen la

caña, como son la fibra denominada "bagazo" y el jugo al cuál se lo denomina "guarapo".

Los trapiches están conformados por una serie de molinos, movidos por turbinas a vapor con potencias de entre 500 y 900 HP.

Los molinos están conformados por una serie de rodillos denominados mazas, cada maza tiene una denominación según su ubicación, pudiendo ser esta cañera, que da la entrada del molino; bagacera, que da la salida del molino; y superior, ubicada sobre las mazas cañera y la bagacera. La maza adicionada en el trapiche "B" se la denomina cuarta maza, y su ubicación es paralela a la maza superior, sobre la maza cañera. En el plano 1, se indica la ubicación de cada maza y en el plano 2A, se esquematiza el proceso de molienda del Trapiche A.

Entre la maza cañera y la bagacera existe una placa denominada cuchilla, que sirve para dar paso al bagazo de una maza a otra. Las dos mazas inferiores del molino y la cuarta maza están fijas sobre unas bases llamadas "pedestales", mientras que la maza superior está sujeta por medio de un acumulador hidráulico, el mismo que le permite un leve movimiento no mayor a 1 pulgada en una línea de acción de 15 ° con respecto a la vertical. Al movimiento que realiza la maza superior sobre esta línea de acción se la denomina "flotación".

Como se dijo anteriormente el molino tiene la función de separar el bagazo del guarapo, este papel se facilita cuando se usa maceración, proceso mediante el cuál el bagazo es remojado en cada molino con jugo del molino siguiente, e imbibición, proceso en el que se agrega agua a una temperatura entre 60 a 90° C en los dos últimos molinos, con el fin de diluir y mezclar el guarapo que contiene el bagazo.

El guarapo obtenido en la primera mitad de molinos de cada trapiche se denomina "jugo diluido" ó "jugo mezclado", este primero se filtra en unos cedazos y luego es bombeado a unos tanques para continuar con la elaboración, y el obtenido en la segunda mitad de molinos se denomina "jugo de maceración".

El bagazo en cambio es transportado por medio de conductores de tablillas hacia las calderas para usarlo como combustible, otra porción es soplada a Papelera Nacional para elaborar la pulpa de papel, y una pequeña parte se usa en ciertas misceláneas.

En los tanques de recolección de jugo diluido se da inicio a uno de los primeros pasos que es tratar de eliminar la tierra y arena que vienen con la caña a través del proceso por los molinos.

Los sólidos más pesados son extraídos por una cadena sinfín que pasa por el fondo del tanque que contiene jugo diluido, las impurezas que

aún no sedimentan en este tanque es extraído más adelante en los clarificadores de jugo.

El jugo diluido o mezclado es inyectado en contra corriente de un flujo de anhídrido sulfuroso ( $SO_2$ ), en las torres de sulfitación. El  $SO_2$  que se obtiene por la combustión de azufre en tres juegos de quemadores, debe ser mezclados con el jugo en forma rápida y perfecta, de modo que al salir el jugo de las torres tenga un p.h. fluctuante entre 3,8 - 4,2.

La adición de anhídrido sulfuroso se realiza con tres finalidades:

1. Como blanqueante, por su acción reductora transforma las sales férricas de color pardo rojizo en sales ferrosas de color claro.
2. Como medio antiséptico, por que su acción destruye bacterias que vienen en la caña.
3. Como medio precipitante de materiales extraños a la sacarosa y que precipitan en medio ácido.

Se debe tener en cuenta que la sacarosa también se destruye en medio ácido por lo cuál éste debe ser neutralizado inmediatamente con una lechada de sacarato de cal.



La adición de una solución diluida de sacarato de calcio. (Hidróxido de calcio más sacarosa), tiene la finalidad de neutralizar la acidez producida por la sulfitación y evitar la ruptura de las moléculas de la sacarosa que dan azúcares reductores, y también precipitan productos existentes que precipitan en medio alcalino.

Se debe añadir esta solución en forma continua para conseguir que el jugo clarificado tenga un p.h. que fluctúe entre 6,8 - 7,2, un p.h. inferior puede producir una inversión de azúcares entre tanto uno elevado altera el color del azúcar.

El siguiente paso es elevar la temperatura del jugo clarificado, pasándolo a través de unos intercambiadores de calor, la velocidad de paso debe estar entre 6 - 7,5 pies/seg. , Velocidades superiores disminuyen la transferencia de calor y velocidades menores ensucian los tubos de los calentadores formando incrustaciones calcáreas. La temperatura del jugo a la salida de los calentadores debe tener como mínimo una temperatura de 219 ° F, con el fin de que favorezca la floculación y la rápida precipitación de los productos extraños a la sacarosa existente en el jugo clarificado.

El jugo así preparado alimenta a los clarificadores continuos, en los cuales el jugo debe permanecer por un lapso de 2 horas en retención,

de los clarificadores se extrae cachaza en forma de lodos mediante bombas de diafragma.

La cachaza es mezclada con bagacillo para hacerla pasar por unos filtros de vacío, en los que se extrae la sacarosa existente aun en los lodos para regresarla a los tanques de jugo alcalizado. Los lodos son llevados al campo para ser usados como abono, en algunos países la cachaza se utiliza como alimento para ganado, aves de corral, etc.

El jugo clarificado tiene una concentración aproximada entre  $13^{\circ}$  y  $18^{\circ}$  Brix. Un grado Brix es el tanto por ciento por peso de sólidos en solución indicado por un refractómetro de azúcar calibrado con la escala internacional de la Comisión para Métodos Uniformes de Análisis de Azúcar

La purificación del jugo produjo jugo claro, este jugo no es otra cosa que azúcar disuelta en agua, por ello se debe realizar una evaporación para eliminar el agua. Los evaporadores utilizados son de cuatro efectos, estos producen cuatro libras de agua evaporada por cada libra de vapor usada. Cabe notar que el principio fundamental de un múltiple efecto es evaporar con una libra de vapor tantas libras de agua como efectos se tenga.

El agua condensada en los evaporadores es bombeada a unos tanques de almacenamiento, para analizar que no tenga contaminación de sacarosa y posteriormente usarla en las calderas para generar vapor.

Existe una temperatura crítica a partir de la cuál el jugo se carameliza provocando una pérdida de sacarosa y una coloración que permanecerá hasta los cristales de azúcar, por lo que en los evaporadores no es recomendable concentrar el jarabe a más de 33 ° Brix. Al jugo concentrado en los evaporadores se le llama meladura la misma que es bombeada a unos tanques receptores denominados tachos.

En los tachos se le sigue aplicando el proceso de evaporación hasta llegar a un punto de sobresaturación de la mezcla. Aquí se le aplica una cantidad de polvo de azúcar disperso en alcohol, el que va a servir como "semilla" para la formación de cristales de azúcar.

Con ebullición, agitación y alimentación de más producto azucarado denominado meladura, se obliga a que los cristales de azúcar crezcan hasta obtener un tamaño que fluctúa entre los 0,2 - 1 mm. , Entonces se descarga el tacho, en unos tanques denominados cristalizadores.

A esta masa se la denomina "masa cocida de primera", la misma que luego es centrifugada, saliendo por un lado el azúcar blanco y por

medio de unos cedazos la miel A. El azúcar blanco es llevada a unas tolvas para luego enfundarla y proceder a su comercialización.

Por un procedimiento semejante, pero en lugar de alimentar con meladura se usa miel A, produciéndose una templa de segunda, la que se purga en otras centrifugas separando el azúcar llamada de segunda y la miel B por medio de cedazos. Con el azúcar de segunda se prepara magma de segunda que será usada en el proceso de preparación de azúcar de primera.

De la misma manera se alimenta a los tachos con miel B, donde se obtiene una templa de tercera, para luego en otras centrifugas separar azúcar de tercera con miel C. Con azúcar de tercera se prepara magma de tercera para elaborar templeas de segunda y repetir nuevamente el ciclo.

Por otro lado la miel "C", o comúnmente conocida como melaza ó miel final es bombeada a unos tanques de almacenamiento de donde se despacha con diferentes fines industriales. En estos momentos se entrega esta cuota de melaza a Soderal industria que se dedica a la destilación de alcohol. En el plano 3 se esquematiza el proceso total de elaboración de azúcar.

# CAPITULO 2

## 2. PARAMETROS DEL PROCESO DE MOLIENDA.

Se puede decir que existen dos tipos de parámetros los de operación y los de control, entre los de operación se cuenta con Extracción, Presión en los molinos y Velocidad en los molinos, estos son calificados con los parámetros de control que se obtienen en el laboratorio.

En el apéndice G se muestra una tabla con los parámetros de proceso y mantenimiento de la planta.

### 2.1. Extracción.

En el proceso, el factor fibra es de suma importancia, puesto que el molino muele fibra y en función de esta se elabora la calibración del Trapiche. Existen varias formas para tratar de determinar la eficiencia de los molinos, estas son:

- a) Azúcar % bagazo, aquí intervienen parámetros como riqueza de la caña y la humedad del bagazo.
- b) El conocer la cantidad de azúcar (Pol) extraída en el molino.
- c) El determinar la cantidad de sólidos en el bagazo (Brix) después de cada extracción, este análisis se hace en el laboratorio.

### **2.1.1. Preparación de la caña.**

La preparación de la caña influye mucho en el trabajo de los molinos al momento de la extracción del jugo.

El lavado de la caña en los conductores es importante para tratar de eliminar arenas y lodos, estos incrementan el desgaste en las máquinas. Luego el picado de la caña, ya sea con machetes rectos afilados, machetes estilo cresta de gallo, ó con desfibradoras, lógicamente cada uno de los instrumentos nombrados anteriormente tiene una determinada influencia en la extracción.

Del manual de Ingeniero azucarero, se obtienen varias funciones que indican cuanto incremento hay en la extracción de acuerdo al tipo de instrumento de preparación:

a) Cuchillas

$$\varepsilon = \frac{3}{(N-6)} \%$$

b) Desfibradora tipo Searby

$$\varepsilon = \frac{7,5}{(N-8)} \%$$

c) Desfibradora tipo Maxwell

$$\varepsilon = \frac{2,5}{(N-8)} \%$$

En donde:

$N$  = Es el número de cilindros de la batería.

$\varepsilon$  = Incremento en la extracción

### 2.1.2. Altura del colchón de la caña.

La altura del colchón de caña va relacionada con la alimentación al primer molino, es aproximadamente la tercera parte del diámetro de la maza superior de la batería.

$$H = \frac{D}{3}$$

$H$  = Altura del colchón de caña

$D$  = Diámetro de la maza superior

### 2.1.3. Flotación de las mazas superiores.

La flotación normal de las mazas superiores esta entre  $3/8'' - 3/4''$ , si la flotación es inferior la extracción del molino decrece y si es superior, puede romperse el acoplamiento de transmisión de potencia.

La flotación de las mazas superiores va relacionada con la velocidad de los molinos y la presión aplicada a estos, estas dos variables determinan cuanto se comprime el bagazo.

Para calcular la máxima flotación de la maza superior se necesitan los siguientes datos:

- a) Toneladas de caña Día (TMC/Día)
- b) Fibra de caña (% Fibra Caña)
- c) Longitud del Rodillo (L expresado en metros)
- d) Velocidad del rodillo (V expresado en m/min.)
- e) Inclinación de la Virgen

Existen varias formas de calcular la flotación de las mazas superiores en un molino, estos son; Método Brasileño, Método de jugos sucesivos, Método Java.

Para trabajar con el método brasileño se usan las fórmulas descritas a continuación:

$$Factor = \frac{TMC / Dia \times \%Fibra \times 100}{L \times V \times 1000}$$

$$Flotación = Factor \times Os \times 0,4 \times Cos\theta$$

#### Factor Os, Método Brasileño

Baterías	Desm.	Mol. 1	Mol. 2	Mol. 3	Mol. 4	Mol. 5	Mol. 6
6 Molinos	20,7	14,8	11,1	8,5	7,3	6,6	6,1
4 Molinos		17,3	10,8	7,8	6,1		

#### Factor Ks, Método Brasileño

Baterías	Desm.	Mol. 1	Mol. 2	Mol. 3	Mol. 4	Mol. 5	Mol. 6
6 Molinos	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
4 Molinos		2,1	2,4	2,6	2,8		

Tabla I.- Factores Os y Ks para determinar aberturas.

Para trabajar con el método de jugos sucesivos, se determina el Brix esperado en cada uno de los molinos, luego se determina la densidad del jugo en el Anexo C.

Para efecto de estos cálculos es muy importante saber cuál es la densidad de la fibra propiamente dicha. Como el bagazo es una mezcla de jugo y fibra se puede establecer:

$$v = \frac{F}{\delta} + \frac{1-F}{\delta'}$$

Donde:

$v$  = Volumen específico

$\delta$  = Densidad de la fibra a una presión  $p$  ( $\text{Kg}/\text{cm}^3$ )

$\delta'$  = Densidad del jugo a una presión  $p$  ( $\text{Kg}/\text{cm}^3$ )

$F$  = Contenido de fibra por unidad de bagazo

Pidduck, en 1955, encontró la fórmula para determinar la densidad de la fibra de la caña a una determinada presión:

$$\delta = 1,512 + 220 \times 10^{-6} p$$

$P$  = presión a la que se sujeta la fibra, en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$

De la misma manera, puede tomarse:

$$\delta' = \delta'_0 (1 + 380 \times 10^{-6} p)$$

Posteriormente se calcula el tonelaje de bagazo B manejado en cada molino, multiplicando el peso del bagazo % caña por las TMC/hora.

Para calcular la abertura se hace uso de la formula:

$$Flotación = \frac{B}{188,4 \times L \times D \times \eta \times d}$$

Donde:

$\eta$  = Velocidad de rodillos en R.p.m.

d = Densidad específica del bagazo.

Para calcular las aberturas por el método Java, se parte de la formula de la presión total ejercida por el cilindro sobre el bagazo:

$$P = \frac{25 \times L \times \sqrt{KD}}{10^6 \times C^6}$$

K = Espesor del bagazo a la salida del molino.

C = Máxima compresión.

Esta fórmula se deducirá cuando se hable de presiones medidas en el bagazo, de aquí se despeja K, tomando en cuenta que la máxima compresión C:

$$C = 0,93 \frac{KF}{q}$$

q = Peso de la fibra por unidad de superficie.

#### 2.1.4. Atascamiento en los molinos

Se puede decir desde el punto de vista operacional que si se mantiene una alimentación continua y uniforme a todos los molinos, una altura apropiada del colchón de caña, un ajuste y velocidad de los molinos en relación del ritmo de molienda, una batería en buen estado, además de supervisores y operadores con experiencia, se cuenta con los ingredientes necesarios para no sufrir atascamientos.

Estos "Atoros" son muy costosos, debido a que hay un tiempo limitado de molienda, 200 días y cada minuto perdido no podrá ser recuperado.

### **2.1.5. Ranurado de las mazas**

Originalmente los rodillos de las mazas eran lisos, pero esto no ocasionaba una división del bagazo adecuada, dificultando una correcta extracción del jugo y una menor superficie de contacto.

Posteriormente se maquinó la superficie de las mazas, ganando superficie de contacto y generando una división del bagazo en tres direcciones. El ranurado de las mazas actualmente tiene una forma de triángulo, con un ángulo en la arista superior de  $55^\circ$  y un paso de 5,08 centímetros, como se muestra en el plano 4.

### **2.1.6. Drenaje del jugo en las mazas**

La maza cañera maneja un flujo mayor de jugo que la maza bagacera. La capacidad de desalojo de jugo en la batería está determinada por los meashester de la maza cañera, la distancia entre la cuchilla tornabagazo y la maza bagacera, y el área efectiva a través de la brida de la maza superior al momento de realizar la extracción.

A continuación se muestra un ejemplo práctico; en el Trapiche A se tiene una distancia efectiva entre la maza bagacera y la cuchilla tornabagazo de 0,375", la dimensión de cada meashester está

Tabla II.- Capacidad de Desalojo de Jugos en Cada Trapiche

Cálculo de Presión TA							
Long. Maza (in)	64	Ø de maza (in)	35,0625	Nº dientes	25	Presión aplicada	3500,000
Datos de Brida		Datos de Meschaert		Datos de Cuchilla		Capacidad	
Ø de aguj. (in)	0,500	Prof. (in)	1,375	Prof. (in.)	1,000	Eficiencia	0,620
Cant. Agujeros	31	Ancho (in.)	0,281	Paso (in.)	2,000	Area total (in <sup>2</sup> )	20,098
Porc. Efectivo	25%	Cantidad	12	Luz Bag. (in.)	0,375	Flujo Volum. (in. <sup>3</sup> /seg)	8814,137
Area desalojo	6,087	Area desalojo	4,637	Area desalojo	9,375	G.p.s.	9,550

Cálculo de Presión TB							
Long. Maza (in)	84	Ø de maza (in)	44,5	Nº dientes	42	Presión aplicada	3500,000
Datos de Brida		Datos de Meschaert		Datos de Cuchilla		Capacidad	
Ø de aguj. (in)	0,500	Prof. (in)	1,375	Prof. (in.)	1,000	Eficiencia	0,620
Cant. Agujeros	62	Ancho (in.)	0,281	Paso (in.)	2,000	Area total (in <sup>2</sup> )	35,658
Porc. Efectivo	25%	Cantidad	20	Luz Bag. (in.)	0,375	Flujo Volum. (in. <sup>3</sup> /seg)	15637,857
Area desalojo	12,174	Area desalojo	7,734	Area desalojo	15,750	G.p.s.	16,943

	TMC/Dia	TMC/Turno	TMC/Hora	G.p.s.	G.p.m.
Molienda Trapiche A	3500	1167	196	8	465
Molienda Trapiche B	7200	2400	400	16	957
<b>Total Molienda</b>	<b>10700</b>	<b>3567</b>	<b>596</b>	<b>24</b>	<b>1422</b>

indicado en el plano 4, y la dimensión de los 31 orificios de la brida es 1/2" cada uno. Se calcula el área efectiva total y se aplica la fórmula:

$$Q = 21,07 D_{eq}^2 C_{eq} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

La densidad del jugo se toma del Anexo C, el coeficiente de descarga  $C_{eq}$  se asume orificios de cantos vivos 0,620. resultando un valor de 9,55 Gps, que es la capacidad de desalojo de cada molino.

La máxima molienda de caña que maneja este Trapiche es de 196 TMC/Hora, asumiendo que el 70% es jugo con 19° Baumé, se necesita que los molinos puedan desalojar 8 Gps.

#### 2.1.7. Peines raspadores

Los peines raspadores tienen la finalidad de mantener el ranurado de las mazas completamente limpio, se usan los peines en las mazas superior y bagacera. Según su ubicación llevan el nombre, peine superior y peine bagacero respectivamente. Para limpiar el ranurado de la maza cañera se usa la cuchilla tornabagazo y para los meashester se usan unas platinas.

### 2.1.8. Rugosidad de las mazas

La rugosidad de la superficie es necesaria para un buen agarre del bagazo por las mazas y así evitar resbalamientos que ocasionan una reducción en los niveles de alimentación del 15 al 25%, o atascamiento en los molinos, haciendo preciso el uso de menores presiones, lo que da lugar a una reducida extracción de jugo porque se permite la reabsorción del jugo.

Los cilindros de los molinos de azúcar son fabricados de hierro fundido, tanto de grano grueso como de grano fino, esto depende del tratamiento posterior que se le apliquen a los mismos.

Para evitar el resbalamiento inicialmente se recurrió a los chevrones en el dentado, lo que resulto insuficiente. Más tarde la industria azucarera para lograr este objetivo apelado al uso de soldadura en las superficies de las mazas con una aleación del tipo de carburo de cromo martensítico en forma de salientes globulares que, además, tiene propiedades de alta dureza.

Se ha comprobado que los puntos de agarre depositados por la soldadura en los dientes de los cilindros traen las siguientes ventajas:

- a) Permite incrementar entre 20 - 30% la molienda de la caña.
- b) La perdida innecesaria de material producida en el casco al fabricar los chevrones ya no es necesaria, puesto que la soldadura los reemplaza.
- c) La humedad del bagazo disminuye entre un 2 a 3%, puesto que al no haber resbalamiento se puede trabajar con mayores presiones.
- d) El desgaste de los cilindros disminuye considerablemente.

El aporte de soldadura a los cilindros se puede hacer en seco, en el periodo interzafra, o en húmedo durante la molienda.

#### 2.1.9. Desgaste de las mazas

Es producido por la cantidad de caña que pasa por los molinos, el roce de los raspadores y de la cuchilla central, la degradación del material por la acidez y pedazos de hierro o piedras que rompen la cubierta de la maza.

Normalmente cuando la cubierta de la maza llega al 5% de desgaste, se envía a fundir una nueva carcaza. El desgaste suele ser mayor en el centro de la maza.

### **2.1.10. Platos de jugo y arrastradores de jugo**

Para poder recolectar el jugo extraído por los molinos existen unas bandejas ubicadas debajo de las baterías, ocasionalmente se usan cadenas con barajas de madera para ayudar a trasladar el jugo y el bagacillo desalojado.

Aquí se puede observar si el molino está en buenas condiciones mecánicas de acuerdo a la cantidad de bagacillo desalojado en la batería, los posibles defectos pueden ser la posición o estado de la cuchilla tornabagazo, el estado de los conductores intermedios, la alimentación del molino y el estado de las mazas.

## **2.2. Presión en los molinos**

La presión aplicada a las mazas superiores de los molinos tienen la finalidad de regular la salida del bagazo en la batería, es decir, regula la flotación del rodillo superior. La presión aplicada por los acumuladores debe ser tal que ayude a lograr una buena compactación, ó concentración de fibras del bagazo.

Presiones excesivas traen grandes esfuerzos sobre los bronce de las vírgenes tendiendo a dañarlos, además, que se debe utilizar mayor potencia de manera innecesaria por parte de las turbinas.

### 2.2.1. Generalidades

Los acumuladores con los que se aplica la presión en los molinos, originalmente eran constituidos por una serie de contrapesos. Por el año de 1938 en E.E.U.U. se diseñó un acumulador óleo neumático, este consistía en un depósito en forma de botella de lámina soldada conectada a un depósito general de aire comprimido que servía a varios molinos.

Este aseguraba presiones de aire comprimido en el orden de los 22 a 24 Kg/cm<sup>2</sup>. Dentro de la botella se encontraba un pistón de gran diámetro que recibe la presión del aire comprimido sobre su cara superior y la transmite a un pistón de pequeño diámetro que la ejerce directamente sobre la tubería de aceite.

La relación entre los dos diámetros se calcula en la manera que dentro de la tubería de aceite se obtenga la presión deseada. La parte de baja presión del pistón lleva un cuero hidráulico y está guarnecida de aceite.

Edwards, en Estados Unidos, tuvo la feliz idea de reducir sustancialmente el tamaño de la cámara de aire y de colocarla en la proximidad inmediata del cabezote hidráulico.

Estos acumuladores encierran un globo inflado con nitrógeno que se comprime y se dilata cuando la masa flota. En la actualidad existe una gran variedad de bombas, y accesorios que facilitan obtener fácilmente presiones de hasta  $600 \text{ kg/cm}^2$ .

### 2.2.2. Presión medida en el bagazo

Ciertamente la presión ejercida por el acumulador hidráulico sobre el molino no indica la presión correspondiente que recibe el bagazo.

Por ejemplo en el molino del trapiche A cuyas dimensiones son  $35'' \times 68''$ , la resultante sobre el bagazo no será la misma que sobre los molinos del Trapiche B cuyas dimensiones de maza son  $43'' \times 84''$ , en efecto en el molino con cilindros de mayor tamaño la presión se repartirá en una superficie de contacto mayor. Por lo que se puede deducir que la presión  $p$ , es proporcional a la longitud  $L$  y al diámetro  $D$  del rodillo:

$$p = \zeta \times L \times D$$

$\zeta$  = coeficiente numérico.



### 2.2.3. Descomposición de la presión de un molino en marcha

La presión aplicada sobre los extremos del eje de la maza superior en un molino, tiene su correspondiente reacción en la maza cañera, bagacera y cuchilla tornabagazo.

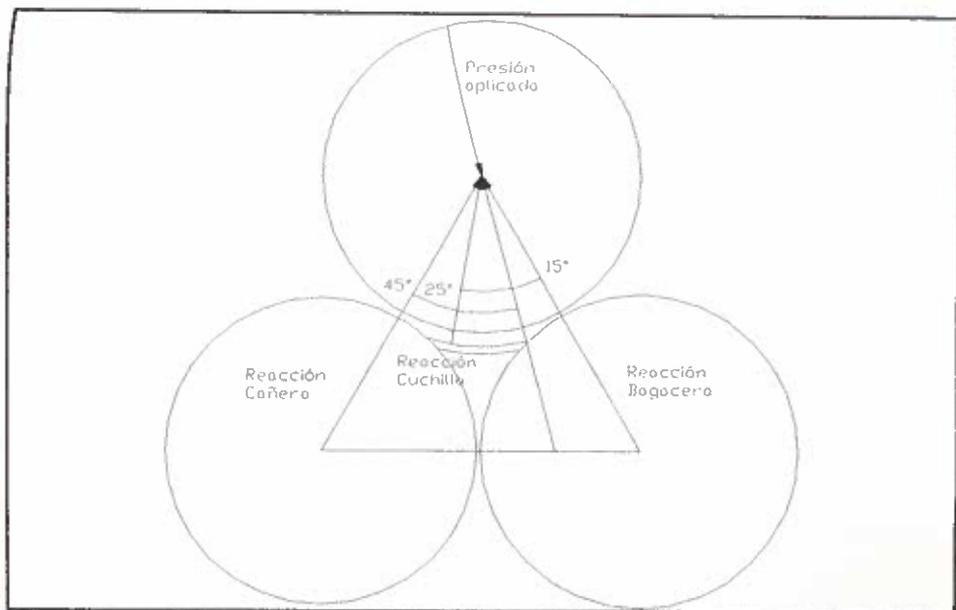


Figura 2.1. Descomposición de la presión de un molino en marcha

Como puede observarse, la presión total aplicada, es absorbida en su mayor parte por la maza bagacera, el resto por la cuchilla central y por la maza cañera.

La presión absorbida por la cuchilla central, no se sabe con exactitud. En Audubon Park, una fábrica experimental, indican que la reacción sobre la cuchilla central es proporcional a la

presión total y es más o menos igual a la mitad de esta presión total.

Munson, impulsor de las experiencias en Audubon, encontró valores normales de 10 a 14 Kg/cm<sup>2</sup>, aclarando también que estos valores llegan ha veces hasta 35 Kg/cm<sup>2</sup>, inclusive sobrepasan los 60 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **2.2.4. Relación entre la compresión del bagazo y la presión necesaria para obtenerla.**

El bagazo es un material muy parecido a la esponja, pudiendo absorber un fluido entre 5 y 10 veces su peso en materia seca, por esto su densidad aparente después del primer molino depende de la cantidad de maceración e imbibición agregada.

Por lo enunciado anteriormente se puede indicar que el peso de la fibra del bagazo no varía siendo este de 60 a 65 g de fibra por dm<sup>3</sup>.

El volumen del bagazo comprimido es un valor bastante preciso e independiente de su estado, de su división, de la variedad de la caña, del crash, etc., aún cuando la presión aumente. Por el contrario, el volumen del bagazo suelto es difícil de determinar.

Si:

$A_b$  = superficie del bagazo

$q_{vc}$  = peso de fibra por unidad de volumen de bagazo comprimido

$q_{vs}$  = peso de fibra por unidad de volumen de bagazo suelto

La compresión del bagazo o la relación entre el espesor del bagazo comprimido y el espesor del bagazo suelto, puede medirse de acuerdo la relación entre el peso de la fibra por unidad de volumen del bagazo suelto y del bagazo comprimido.

$$A_b H \times q_{vs} = A_b h \times q_{vc}$$

De donde:

$$\frac{h}{H} = \frac{q_{vs}}{q_{vc}} = c$$

Noël Deerr realizó un estudio estadístico por medio de un pistón sobre el fondo de un cilindro, el cuál es muy antiguo pero a la fecha es un clásico sobre esta relación. En el Anexo D se condensa la experiencia de Noël Deerr.

El estudio se basa en la siguiente fórmula:

$$P = \frac{70}{10^6 \times c^6}$$

donde:

$c$  = relación de compresión del bagazo.

Como ya se conoce la ley que une la compresión y la presión aplicada sobre el bagazo, se determinará la presión aplicada en cada punto.

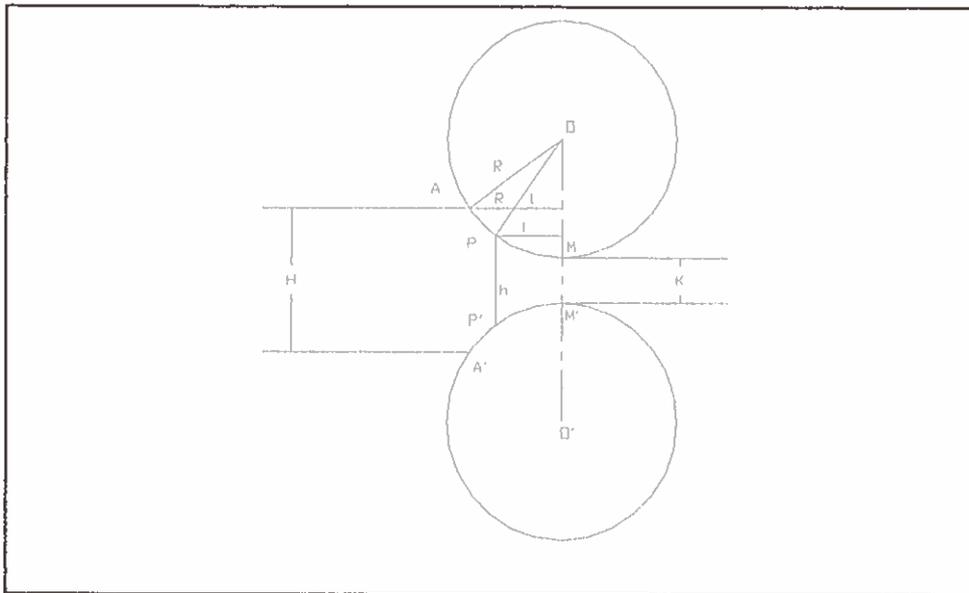


Figura 2.2.- Presiones en el molino

De la figura 2.2 se puede deducir que la compresión del bagazo  $c$  es:

$$c = \frac{K + 2R - 2\sqrt{R^2 - l^2}}{H}$$

Como  $C=K/H$ , se tiene:

$$c = C + \frac{2R}{H} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{l^2}{R^2}} \right)$$

Como los valores de  $l$  son pequeños comparados a los de  $R$ , se puede reemplazar la raíz con los dos primeros términos del desarrollo de la serie:

$$(1-x)^a = 1 - \frac{a}{1}x + \frac{a(a-1)}{2!}x^2 \dots$$

Quedando:

$$c = C + \frac{2R}{H} \left( 1 - 1 + \frac{l^2}{2R^2} \right) = C + \frac{l^2}{RH}$$

Reemplazando el valor de  $C$  en  $p$  se tiene:

$$p = \frac{88}{10^6 \left( C + \frac{l^2}{RH} \right)^6}$$

Esta es la presión en un punto determinado, la presión total en el bagazo es la suma de todas las presiones. Si se considera un elemento de superficie  $dl$  con 1 unidad de profundidad, se tiene:

$$P_1 = \int_0^L p \cdot dl = \frac{88}{10^6} \int_0^L \frac{dl}{\left(C + \frac{l^2}{RH}\right)^6}$$

Supóngase que:

$$t = \frac{l}{\sqrt{CRH}} \Rightarrow dt = \frac{dl}{\sqrt{CRH}}$$

Se tiene:

$$P_1 = \frac{88\sqrt{CRH}}{10^6 C^6} \int_0^L \frac{dt}{(t^2 + 1)^6}$$

Desarrollando la integral:

$$\int_0^L f(t) dt = \frac{9.753}{10.8.6.4.2} \left[ \arctg(t) + \frac{t}{1+t^2} + \frac{2t}{3(1+t^2)^2} + \frac{2.4t}{3.5(1+t^2)^3} + \frac{2.4.6t}{3.5.7(1+t^2)^4} + \frac{2.4.6.8t}{3.5.7.9(1+t^2)^5} \right]_0^L$$

Para  $z=0$  se tiene  $f(z)=0$ . Para determinar el valor de  $L$ , se requiere el valor de la abscisa a la entrada del bagazo al molino, siendo:

$$c = C + \frac{2R}{4} - \frac{2\sqrt{R^2 - l^2}}{H}$$

Con  $c=1$ , y despejando  $L$ , se tiene:

$$L = \sqrt{H(1-C) \left[ R - \frac{H(1-C)}{4} \right]}$$

Reemplazando este valor en  $t$ , se tiene:

$$t = \sqrt{\frac{(1-C) \left[ R - \frac{H(1-C)}{4} \right]}{RH}} \Rightarrow t^2 = \frac{1-C}{C} \left[ 1 - \frac{H(1-C)}{4R} \right]$$

Cuando  $t \Rightarrow \alpha$  los siguientes 5 términos de  $\int f(t).dt$  tienden a 0, por tanto, se tiene:

$$\int f(t).dt = \frac{9.7.5.3}{10.8.6.4.2} \frac{\pi}{2} = 0.3864$$

Este valor se reemplaza en  $P_1$  y se tiene:

$$P_1 = 0.3864 \times \frac{88\sqrt{CRH}}{10^6 C^6} = \frac{34\sqrt{CRH}}{10^6 C^6}$$

Esta expresión se tomó para en una sección del cilindro, por tanto se debe multiplicar por la longitud del cilindro  $L$ :

$$P = PL = \frac{34L\sqrt{CRH}}{10^6 C^6} = \frac{24L\sqrt{CDH}}{10^6 C^6}$$

Para tomar en cuenta la inclinación de la virgen se aumenta un 5%, y como K, es el espesor del bagazo comprimido. Se tiene que  $K=CH$ , reemplazando en la fórmula anterior se tiene:

$$P = \frac{25L\sqrt{KD}}{10^6 C^6}$$

En la práctica el valor de H es muy difícil de determinar, sin embargo, se guarda una relación con:

$$H = \frac{q}{0,93F}$$

Reemplazando H en C y luego en P se tiene:

$$P = \frac{25Lq^6\sqrt{KD}}{10^6 0,93^6 K^6 F^6}$$

### 2.3. Velocidad de los Molinos

Tienen dos formas de ser medida, como velocidad periférica de los rodillos ó en R.p.m. de los rodillos.

Si se tiene:

V = velocidad periférica, en metros / minuto

$D$  = diámetro de los cilindros, en m

$n$  = velocidad de rotación en R.p.m.

De donde:

$$n = \frac{V}{\pi D}$$

### 2.3.1 Generalidades

La cantidad de jugo extraído es proporcional al tonelaje de caña molido, la velocidad de los rodillos presentan un obstáculo al escurrimiento del jugo.

La adherencia del jugo a la superficie del cilindro puede medirse por la superficie que el cilindro describe en el momento de la extracción.

$Sc$  = Superficie periférica del cilindro

$$Sc = \pi L n D$$

La velocidad de la superficie del cilindro obra en sentido inverso a la velocidad propia del jugo, en la zona A donde el seno del ángulo  $\theta$  es pequeño. Este obstáculo es difícil de medir porque envuelve

factores como viscosidad y adhesión entre capas líquidas. Para los razonamientos se designará a  $V$  como una función de velocidad  $f(V)$ .

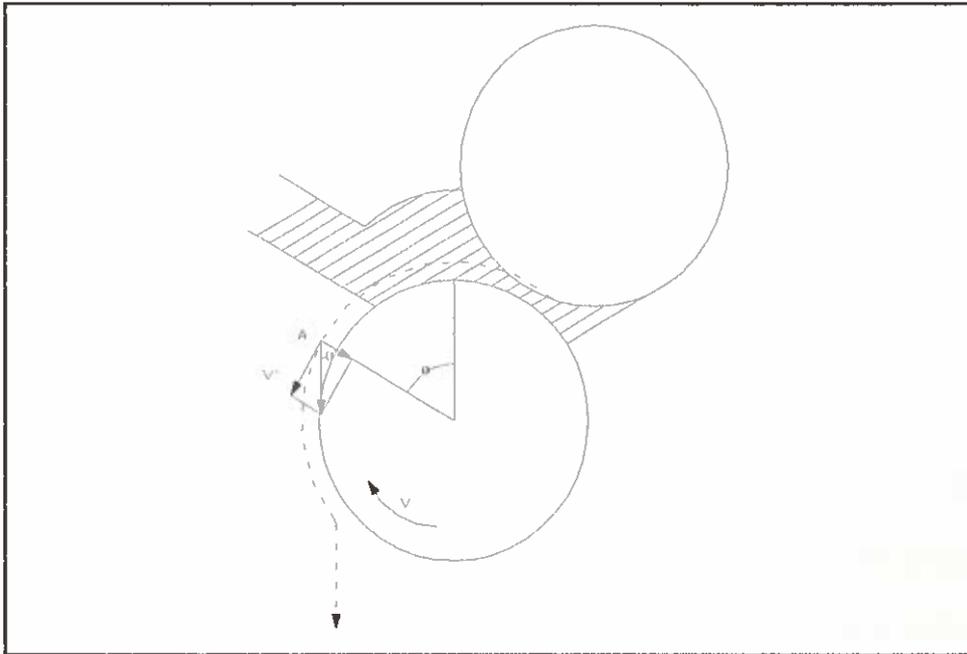


Figura 2.3.- Flujo del jugo extraído

Como se enunció anteriormente la altura del colchón de caña es proporcional al diámetro  $D$  de la maza superior, entonces se podrá hablar de capacidad del molino.

Sea:

$TMC_t$  = capacidad de molienda por el molino por unidad de tiempo

$\lambda$  = coeficiente numérico

$\varphi$  = constante proporcional

$$C = \lambda L D H n$$

De donde el escurrimiento está determinado por la relación:

$$\varphi = \frac{C}{Sc \cdot f(V)} = \frac{\lambda H}{f(V)}$$

Puede decirse que la película de jugo arrastrada por la rotación de los cilindros representará, en igualdad de circunstancias, una fracción de jugo menor en un molino grande que en uno pequeño.

### 2.3.2 Empleo de la velocidad lineal y velocidad de rotación

Existen dos formas para hablar de velocidad en los molinos, la velocidad periférica de los rodillos  $V$ , y la velocidad de rotación de los mismos  $n$ .

Al usar  $V$ , puede decirse que se tiene la velocidad del paso de la caña en los molinos, se puede obtener una relación de cuál debe ser la velocidad de los conductores de caña y de los conductores intermedios.

Si se tienen diámetros similares de los rodillos, resulta indiferente hablar de velocidad periférica o de velocidad de rotación, puesto que las dos variables en este caso son proporcionales.

Para encontrar la relación óptima entre la velocidad y las dimensiones de los cilindros, se presentan dos opciones:

1. El conservar para toda la serie de dimensiones de los cilindros una velocidad periférica constante, y al realizar un análisis desde el punto de vista económico los molinos grandes serían más costosos que los pequeños por TCM.
2. El conservar una velocidad de rotación constante, y al realizar un análisis económico el precio de los molinos permanece proporcional a su capacidad.

Si la velocidad periférica  $V$  es un elemento interesante, es en realidad la velocidad de rotación  $n$  la que caracteriza la mejor eficacia del constructor y la utilización más o menos correcta del material.

Es importante notar que en los molinos grandes debe buscarse una extracción un poco mayor a expensas de su capacidad, con el objeto de asegurar una situación económica mejor, y conservar el

costo de la inversión más proporcionado con la recuperación financiera del equipo.

### 2.3.3 Velocidades máximas

La velocidad de los molinos es uno de los componentes que determinan la capacidad de molienda en el Trapiche.

Velocidades muy altas disminuyen el tiempo de retención del bagazo en el molino, es decir, no se efectúa una buena compactación, y, por consiguiente, la concentración de la fibra (fibra%bagazo) a la salida es muy baja.

Otro limitante de las velocidades máximas de rotación de las mazas en los molinos, es la potencia instalada en las turbinas de los trapiches, para ello a continuación se hará un breve análisis de potencias consumidas.

**Potencia consumida por los molinos.-** Antes de empezar a calcular la potencia consumida por el molino es recomendable indicar que por este pasa fibra de caña, permitiéndonos ello poder hablar de tonelajes de caña o de tonelajes de fibra.

El determinar la potencia consumida de un molino es muy complejo, porque requiere de factores que pueden ser calculados y de otros difíciles de medir o estimar.

Entre los factores que pueden ser valorar constan los siguientes:

- a) Potencia consumida por la compresión del bagazo
- b) Potencia consumida por la fricción entre los guijos y los cojinetes de los cilindros
- c) Potencia consumida entre el bagazo y la cuchilla central
- d) Potencia consumida por la punta de la cuchilla contra los cilindros a la que se suma el trabajo de desprendimiento de bagazo de esos puntos
- e) Potencia consumida por los conductores intermedios (sólo el trapiche A posee conductores impulsados por las turbinas del molino)
- f) Potencia consumida por los engranes (Coronas)

En el caso de los factores difíciles de determinar se encuentra:

- a) La variedad de la caña, existen diferentes variedades esto involucra diferente tipo de fibra y por ello diferente potencia consumida.
- b) El estado de rugosidad de las mazas o cilindros.
- c) La calidad en la lubricación de cada uno de los broncees.
- d) El ajuste de las aberturas entre mazas y la altura de la cuchilla central, entre otros.

Estos factores hacen que el análisis de potencia no sea ciento por ciento exacto, según algunos especialistas, los valores en la practica pueden diferir entre un 20 ó 25% de los valores que calculados.

La potencia consumida por el bagazo representa aproximadamente el 80% de la potencia consumida por el molino, por ello se hará un breve análisis sólo de este punto.

En la figura 2.3 se ilustra esquemáticamente, cómo el bagazo ingresa entre dos rodillos, se ha determinado varios puntos para indicar secuencias de avance que podrían ser segundo a segundo.

Se puede observar que en el punto 1 no hay ningún cambio y que en el punto 8 existe la máxima compresión del bagazo y por ende la máxima presión aplicada. Entonces si:

$$T_B = F \times V$$

$$dV = dp \times dA$$

$$T_B = -V \int_H^K pl \cdot dh$$

Reemplazando p y c en  $T_B$ :

$$T_B = -70Vl \left( \frac{H}{10} \right)^6 \int_H^K \frac{dh}{h^6}$$

Integrando y reemplazando se tiene:

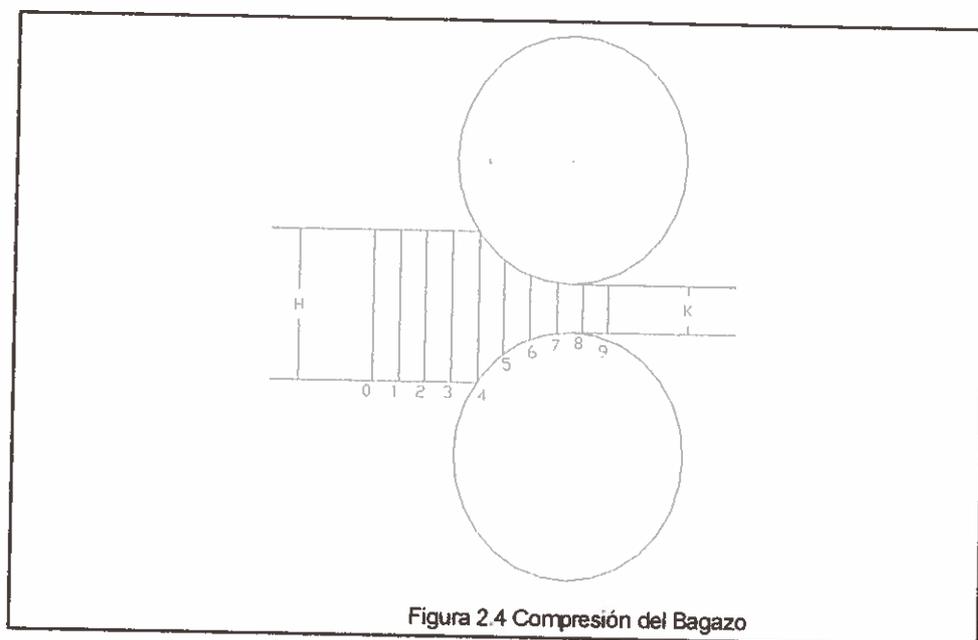


Figura 2.4 Compresión del Bagazo

$$T_B = -\frac{70VI}{5} \left(\frac{H}{10}\right)^6 \left[ \frac{1}{H^5} - \frac{1}{K^5} \right]$$

si se llama:

$$C = \frac{K}{H}$$

$$T_B = -\frac{70VIH}{5 \times 10^6} \left(1 - \frac{1}{C^5}\right)$$

asumiendo:

$$\left(1 - \frac{1}{C^5}\right) \cong -\frac{1}{C^5}$$

se encuentra que la potencia consumida por el bagazo es:

$$T'_B = \frac{14VIK}{10^6 C^6}$$

La potencia consumida por la fricción de los muñones y cojinetes

tiene un valor aproximado a:

$$T_1 = 0.7 \times f_1 \times PnD$$

La potencia consumida por la fricción entre el bagazo y la cuchilla,

puede expresarse como:

$$T_2 = 0.076 f_2 PnD$$

La potencia consumida por los raspadores y la punta de la cuchilla

puede ser representado por:

$$T_3 = 2.1 LnD$$

En el caso del Trapiche A, los conductores intermedios consumen una potencia equivalente a:

$$T_4 = 1.9LnD$$

Donde:

T = Potencia consumida por los molinos en HP

$\delta_1$  = Densidad del bagazo comprimido en Kg/m<sup>3</sup>

En los Trapiche con baterías de 3 molinos, las velocidades periféricas límites deben ser según Tromp:

$$n = \frac{18}{\pi} \quad \text{ó} \quad V = 18 \times D$$

n = Velocidad de rotación (r.p.m.)

V = Velocidad periférica de los cilindros (m/min.)

D = Diámetro de los cilindros (m)

Actualmente con la instalación de la cuarta y aún quinta maza en los Trapiche se está pasando el límite de  $n = 6$  r.p.m. (21 m/min)

### 2.3.4 Velocidades prácticas comunes

Actualmente en el Ingenio San Carlos se manejan las siguientes velocidades:

Tabla III.- Velocidades comunes en el Ingenio San Carlos

	TCMD	Turbina Desm.	Turbina 1-2-3	Turbina 4	Turbina 5	Turbina 6
T R A P I C H E A		3400	3900	3600	3400	3000
		3000	3500	3200	3000	2600
		2500	2900	2600	2400	2100
		2200	2500	2300	2100	2000

### 2.4 Control de los molinos

El control de los molinos se basa en una ecuación llamada "balance general":

$$\text{Caña} + \text{Agua} + \text{Imbibición} = \text{Jugo} + \text{Mezclado} + \text{Bagazo}$$

Esta ecuación en la práctica es buena guía de control, aunque no se cumple con absoluta precisión debido a:

- La cantidad de agua que se evapora (Imbibición caliente)
- Exposición de la caña antes de llegar a los molinos (Sol, Lluvias, etc.)
- La cantidad de basura y cuerpos extraños que trae la carga de caña

#### 2.4.1 Imbibición

La caña de azúcar consiste en fibra y jugo el cual es llamado "jugo absoluto". La caña de azúcar es aproximadamente 70 a 80 % jugo, y cuando ésta ha sido cortada por los machetes rotatorios, la fibra retiene el jugo como una esponja, y el jugo comienza a fluir solamente cuando la caña preparada es exprimida por la desmenuzadora o el primer molino, según sea el equipo que suministra la primera presión.

Del 60 al 70% del jugo es extraído por esta primera presión, por lo que en términos generales puede señalarse que una extracción

eficiente en un tándem, depende en gran parte de la operación eficiente del primer molino o desmenuzadora.

Por ello se nota claramente que el flujo de jugo disminuye, y el jugo remanente en el bagazo después del primer molino, tiene que ser extraído por una combinación de lixiviación y presiones periódicas en los molinos restantes. Este método de extracción por lixiviación es llamado maceración.

En los dos tándem estudiados, ver planos 2A y 2B se aplica la imbibición compuesta, y en ambos casos se aplica agua caliente a los dos últimos molinos en proporciones de 20% y 80% respectivamente. El jugo extraído del último molino se aplica al bagazo entrando al molino anterior, y así sucesivamente, hasta el segundo molino. Los jugos que salen de la desmenuzadora, del primer y segundo molinos son enviados a fabricación. A este jugo se le llama "jugo mezclado".

El principio básico de la imbibición compuesta es recircular jugo desde cada molino sucesivo ya que su Brix es menor en cada molino sucesivo y de esta forma se ayuda al efecto de lixiviación. El mejor procedimiento es aplicar el jugo o el agua al bagazo al momento que éste sale del molino, con la idea que el bagazo



absorba el líquido como una esponja mientras se expande. El bagazo reabsorbe el jugo o agua como una esponja y se hincha. El molino al exprimir el bagazo extrae el jugo y rompe células adicionales de las cuales la imbibición lava el azúcar.

El jugo de cada molino es colado mediante *cush - cush*, coladores DSM, y retornado luego a los molinos precedentes. El bagacillo húmedo es retornado mediante conductores de tablilla y conductores de gusanos.

Para evitar la extracción de gomas, cera, e impurezas indeseables, la temperatura del agua de imbibición no debe exceder de 140-176°F (60-90°C). Algunos técnicos recomiendan temperaturas más altas para mejorar la extracción, pero el efecto de esto puede ser perjudicial ya que las mizas pueden pulirse demasiado y ocasionar resbalamiento y dificultades en la alimentación de las mismas. No pueden existir dudas en cuanto a que a mayor extracción de impurezas indeseables por el molino, el recobrado de azúcar en el proceso de fabricación será menor. Por lo tanto la selección de la temperatura del agua de imbibición tiene que contemplar la eficiencia de producción de azúcar en su totalidad y no tan sólo en la extracción del molino.

Se ha comprobado que el agua de imbibición en exceso a 180-200% fibra no aumenta la extracción, y por ello deben evitarse valores más altos.

Es preciso señalar que el índice que debe servir para determinar la cantidad de agua de imbibición debe ser el de imbibición %fibra en caña, ya que precisamente es el contenido de fibra el que demanda la mayor o menor cantidad de agua de imbibición para eficiencia en la extracción.

La cantidad de agua aplicada no puede ni debe ser constante, sino que debe variarse con relación a la fibra % caña. Para determinar la imbibición % fibra, puede emplearse la fórmula siguiente:

$$\text{Imbibición}\%Fibra = \frac{\text{Imbibición}\%Caña}{Fibra\%Caña} \times 100$$

Este valor debe estar en 180 a 200% para mayor eficiencia en la extracción.

En la operación práctica se comprueba que cuando se muelen cañas con alto contenido de fibra, es posible y necesario aumentar la cantidad de agua de imbibición. Por otro lado y con estas condiciones es bueno señalar que para un mismo peso de caña, a

mayor fibra corresponde menos jugo y viceversa, por lo tanto el aumentar el agua de imbibición cuando se muelen cañas de alta fibra no debe afectar la capacidad de los evaporadores. En sentido contrario, con cañas de baja fibras puede y debe reducirse la imbibición para, sin afectar la extracción, no afectar la capacidad de evaporación instalada.

Estas variaciones en el agua de imbibición pueden hacerse teniendo siempre presente que el valor de imbibición % fibra debe mantenerse en el rango de 180 a 200%.

#### **2.4.2 Curvas de Brix**

Uno de los mejores medios de control para el trabajo de los molinos, es la construcción de una gráfica con los Brix del jugo de los molinos sucesivos.

La eficiencia del trabajo de una batería de molinos se aprecia por la forma en que los valores encontrados en cada molino se aproxima a una curva teórica.

Entre los jugos de la desmenuzadora y los de cada uno de los molinos siguientes hay diferencias, que están de acuerdo con las diferencias en las presiones y los grados de saturación. A medida

que siguen las compresiones, ocurre disminución del Brix, de la polarización, y de la pureza, con el consiguiente aumento en los no-azúcares.

En general, para un mismo molino, el jugo de la maza bagacera es de Brix y pureza mayor que el jugo de la maza cañera, ya que esta última extrae el agua superficial de imbibición del exterior de las partículas de bagazo, mientras que la maza bagacera extrae parte del jugo que contienen las células internas.

También es interesante señalar que la maza cañera de los últimos molinos del tándem, trabajando con imbibición, debe extraer unas tres cuartas partes del jugo, mientras que la maza bagacera sólo suele extraer una cuarta parte.

El procedimiento más usual para la confección de la curva de Brix, consiste en la determinación del Brix en muestras tomadas de los jugos de las mazas cañeras y bagacera de cada uno de los molinos, y construir un gráfico con esos valores. El gráfico consiste de dos curvas, una para las mazas cañeras y otra para las bagaceras.

La toma de muestras se sincroniza de forma tal que la muestra se toma en el momento que pasa la misma porción del colchón de

bagazo por cada molino sucesivamente, y se trata de que las condiciones de molienda en esos momentos sean lo más uniformes y normales que se pueda lograr.

Para asegurarse de que las muestras de jugo corresponden al mismo colchón de bagazo, usualmente lo más práctico es marcar el colchón de caña antes de la entrada a la primera compresión, desmenuzadora o primer molino según sea el caso, rociando lechada de cal a todo lo ancho del colchón, el cual tomará un color verde amarillo muy peculiar.

En general, la curva debe mostrar una línea inclinada hacia abajo, y con una caída lógica y proporcional en cada molino. Valores que alteran la caída lógica de la curva, indican ineficiencia en el molino de que se trate. Las curvas de Brix son un instrumento de información muy valioso para analizar la operación de los molinos.

#### **2.4.3 Pol en bagazo**

La Pol % Bagazo expresa la sacarosa que se pierde en el bagazo. Esta pérdida representa una pérdida directa ya que no es producto de descomposición química, sino de sacarosa que no ha sido extraída por los molinos del total de sacarosa que trae la caña.

Se puede señalar que por cada décima (0.1) de aumento en el Pol % Bagazo se pierden 31.3 toneladas de azúcar por cada 100,000 toneladas de caña molida, asumiendo un 30 % de Bagazo % caña.

Es muy conveniente recordar que el azúcar que se pierde en el bagazo, es azúcar que se quemará en los hornos, en lugar de ser enviada al almacén.

Para un mismo tándem de molinos, varios factores contribuyen a la mayor o menor pérdida de sacarosa en el bagazo.

1. Grado de preparación de la caña: Es lógico que mientras mayor sea el grado de preparación de la caña, mayor y más eficiente sea la extracción de sacarosa por los molinos.
2. Fibra % caña: A mayor contenido de fibra en caña la eficiencia de la extracción será menor, además, se producirá mayor cantidad de bagazo por unidad de caña.
3. Presión en los molinos. En general la extracción aumenta rápidamente a medida que se aumenta la presión desde cero a 150 ton/pie cuadrado, y más lentamente a presiones mayores.

4. Abertura de los molinos. Mientras más correcto sea el "setting" mayor será la eficiencia de extracción y menos Pol en bagazo. El ajuste de los molinos depende de las instalaciones y condiciones locales.
5. Imbibición. La imbibición compuesta así como la aplicación del agua de imbibición, tienen una gran influencia sobre la Pol en bagazo.
6. Velocidad de los molinos. En general cuando la velocidad se aumenta hay tendencia a disminución de extracción, si no se ajustan los demás factores en el proceso de molienda.
7. Condición mecánica del tándem. La condición mecánica y el mantenimiento eficiente influye en la eficiencia del tándem.
8. Operación del tándem. La experiencia y disposición del personal operativo es crucial en la eficiencia y reducción de la pérdida en bagazo.
9. Información. La información metódica al personal de operación y supervisión es básica para el logro de alta eficiencia.

El Pol % Bagazo es una cifra que debe ser determinada por el laboratorio lo más frecuentemente posible. En fábricas bien controladas esta determinación se hace cada hora, y se reporta a los operadores del tándem.

Aunque no puede fijarse un valor óptimo general, sí se puede señalar que este valor puede variar de 1,5 a 3,0 %, dependiendo de las condiciones locales.

#### 2.4.4 Humedad en el bagazo

La operación básica del tándem de molinos es moler la cantidad de caña de acuerdo con su capacidad operativa, extraer el máximo posible de la sacarosa que trae la caña, y tratar de secar el bagazo final, dentro de los límites aceptables para poder aprovechar al máximo su valor calorífico en la planta generadora de vapor.

La inmensa mayoría del bagazo que se produce, equivalente aproximadamente a la cuarta parte de toda la caña que se muele en el mundo, sirve de combustible para la generación de vapor y energía eléctrica en las fábricas de azúcar de caña. Debido a la electrificación y otras medidas que economizan combustible, la

mayoría de las fábricas modernas producen un exceso de bagazo durante sus zafras normales.

El poder calorífico del bagazo seco es generalmente de 8,200 a 8,400 BTU por libra (4555 a 4666 kcal / Kg.), pero el poder calorífico verdadero del bagazo que se quema en los hornos depende de la humedad que contiene, ya que requiere calorías para su vaporización.

En otras palabras, mientras más seco es el bagazo, mayor es su poder calorífico y por lo tanto para producir la misma cantidad de vapor, se necesitará menor cantidad de bagazo. De ahí la importancia de tratar de obtener durante la molienda, la humedad más baja posible en el bagazo.

Por ello, la humedad del bagazo así como la Pol % Bagazo, debe ser preocupación de los operadores de los molinos. Generalmente los valores de la Humedad %Bagazo son de 45 a 52%, dependiendo de las condiciones locales. Hay fábricas que logran valores más bajos aún.

El laboratorio de control debe determinar la Humedad %Bagazo, al menos en cada turno, y mantener informado al personal de operación de los molinos y calderas.



#### 2.4.5 Extracción reducida

Es evidente que la cantidad de fibra que contienen la caña influye mucho en la extracción de sacarosa por el tándem de molinos. Para eliminar la influencia de variaciones del contenido de fibra, se calcula la extracción bajo una base fija de 12.5% de fibra en caña. Este valor es llamado Extracción Reducida.

Por otro lado debe observarse también que los cálculos para obtener la Extracción de Sacarosa % Sacarosa en Caña, debe obtenerse igualmente para poder juzgar la eficiencia del trabajo de los molinos.

Generalmente los valores de la Extracción de Sacarosa (Pol) % Sacarosa (Pol) en Caña varían de 90 a 97%, y la Extracción Reducida variará en función de la Fibra % Caña.

Es elemental que a medida que la extracción de sacarosa sea menor, habrá mayores pérdidas de azúcar en el bagazo. La extracción de sacaras está afectada muy directamente por el contenido de materia extraña en la caña al molerse. Datos conclusivos reportan una disminución de la extracción de sacarosa (Pol) de 0.16% por cada 1.0% del aumento en materia extraña. Varios factores intervienen en la obtención de valores eficientes de

la extracción de sacarosa (Pol) en los molinos, y fundamentalmente las instalaciones y condiciones locales, así como la eficiencia de operación.

# **CAPITULO 3**

## **3. RECOLECCION DE DATOS**

### **3.1. Determinación de los parámetros a medir**

Se usarán datos obtenidos diariamente en el laboratorio y se incorporarán análisis particulares a cada molino. Existen pruebas que son realizadas cada dos horas como:

a) % de Pol en caña

b) % de fibra en caña

Aquí se tomará la media de todas las observaciones en el día. Otras pruebas por lo largo que resulta hacer su análisis se lo realizará una sola vez en el día esta son:

a) % Pol bagacillo en cada colador

b) % en peso de bagacillo en cada colador

c) Pol de cada maceración

d) Brix de cada maceración

e) Humedad en el bagazo de cada molino

f) % de Pol en bagazo de cada molino

g) Brix de jugo en la bagacera

h) Pol de jugo en la bagacera

Existen otros valores que deben ser calculados sobre la base de fórmulas empíricas hasta determinar el % de extracción de cada molino, valor que califica de manera real la eficiencia del Trapiche.

### **3.2. Selección de la metodología a seguir**

Existen parámetros que no se pueden controlar, porque están regidas por la producción en función de cantidad y calidad del producto a moler.

Inicialmente se calcula la calibración de los molinos, este paso se realiza una sola vez. La fibra de la caña parámetro fundamental para realizar este ejercicio se obtiene de la media de todas las medias

anuales en los últimos diez años, y el ritmo de molienda estimado se lo realiza en función de la cantidad de caña estimada en el año.

Una vez determinada la calibración de los molinos, ya se puede sugerir velocidades y presiones aplicadas de acuerdo al ritmo de molienda en el día.

Posteriormente se realizan pruebas de laboratorio, esta información será cruzada, con la que se obtiene teóricamente para así identificar sobre la base de los valores matemáticos obtenidos si existe falla en el proceso, y si esta es de operación o mecánica.

### 3.3. Toma de datos

**% de Pol en caña**, este dato es obtenido por laboratorio mediante la ecuación 19 indicada en el anexo A.

**% de fibra en caña**, este dato es obtenido por laboratorio mediante el uso de la ecuación 11 ó por análisis directo. Para el análisis directo se toma muestras de caña, estas se desfibran y se mezclan en un recipiente, luego se toma 100 gr del material y se licúa con 1000 ml de agua destilada por un lapso de 15 minutos. Del jugo obtenido se mide el Brix en un refractómetro, este determina una constante que más tarde se multiplica con la medida del polarímetro para determinar la Pol

del jugo. Para la lectura del polarímetro se toma una este valor se multiplica por un factor igual a 2,73 se obtiene el valor de la Pol.

Los pasos determinados anteriormente se repiten con **Brix y Pol de jugo en la bagacera** de cada molino, **Brix y Pol de jugos de maceración del Trapiche**.

**% de Pol en bagacillo en cada colador**, debe tomarse 100 gr de bagacillo es licuado en 1000 ml de agua destilada por un lapso de 15 minutos y se determina la Pol usando el polarímetro.

El paso anterior se repite para determinar **% de Pol en bagazo**, en cada molino.

**La humedad del bagazo**, se toma 100 gr de bagacillo y se procede a secar en un horno hasta obtener un bagazo totalmente seco. Nuevamente se pesa el bagazo, la diferencia de los dos valores de peso determina la humedad del bagazo.

Para recolectar cada uno de los datos enunciados anteriormente, se ha desarrollado las tablas mostradas en el Anexo E

### 3.4. Elaboración del programa de Simulación de Molienda

**Determinando la calibración de los molinos.-** La calibración de un molino, consiste en seleccionar la posición relativa más favorable de los tres rodillos y una cuchilla central, para obtener los mejores resultados de extracción.

Las aberturas entre las mazas son determinadas por el volumen combinado de fibra comprimida y jugo diluido en agua. Puesto que la maza bagacera es donde se aplica la mayor presión, por eso se calcula esta abertura primero. La abertura de la maza cañera se calcula luego en función de la obtenida en la maza bagacera.

Investigaciones realizadas por M. Dedini, señala importantes valores para determinar los ajustes en los molinos. Para ello selecciona la preparación de la caña como buena, media y mala.

Inicialmente se determina un factor de compactación, calculado mediante la fórmula:

$$F = \frac{TCD \times f}{L \times 1000 \times v}$$

Donde:

- $TCD$  = Toneladas de caña diaria
- $f$  = Porcentaje de fibra de caña
- $L$  = Longitud del rodillo
- $v$  = Velocidad periférica del rodillo superior

En la tabla I se muestra valores proporcionados empíricamente. Estos valores están clasificados de acuerdo al tipo de molino y a la preparación de la caña, indicando dos Grupos principales Os y Ks, que determinan entrada y salida de los molinos. Sus cálculos se realizan mediante las siguientes expresiones:

$$S' = F \times Os \quad \text{Abertura de salida del molino}$$

$$E' = S' \times Ks \quad \text{Abertura de entrada del molino}$$

### **Elaboración de la estructura del programa**

El programa consta de cuatro hojas electrónicas vinculadas, tres están relacionadas y la cuarta hoja sirve para identificar el comportamiento del molino con ciertos análisis de laboratorio.

En la primera se calcula el ajuste de los molinos y las dimensiones para el montaje. En la segunda hoja sólo se necesita ingresar datos particulares y el programa recomendará valores de velocidades y

presiones aproximados para regular un proceso de molienda. También se calculan otros parámetros, como: Brix del Jugo en cada molino y Pol en bagazo en el último molino. En la tercera hoja se puede jugar con parámetros como velocidad de turbinas y presiones aplicadas, para observar comportamientos de flotación, potencia consumidas y capacidades de molienda.

Para el cálculo de ajustes en los molinos, es necesario conocer:

- a) Diámetros de maza superior en cada molino.
- b) Longitudes de Mazas.
- c) Número de rodillos.
- d) Datos históricos de molienda como, Tmc/día, % Brix, % Pol, % fibra.

Para determinar parámetros de molienda, es necesario conocer:

- a) Toneladas métricas de caña día
- b) Porcentaje de Brix en caña
- c) Porcentaje de Pol en caña
- d) Porcentaje de fibra en Caña

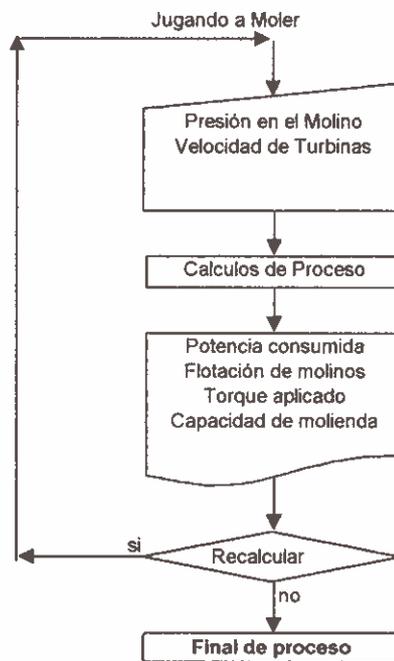
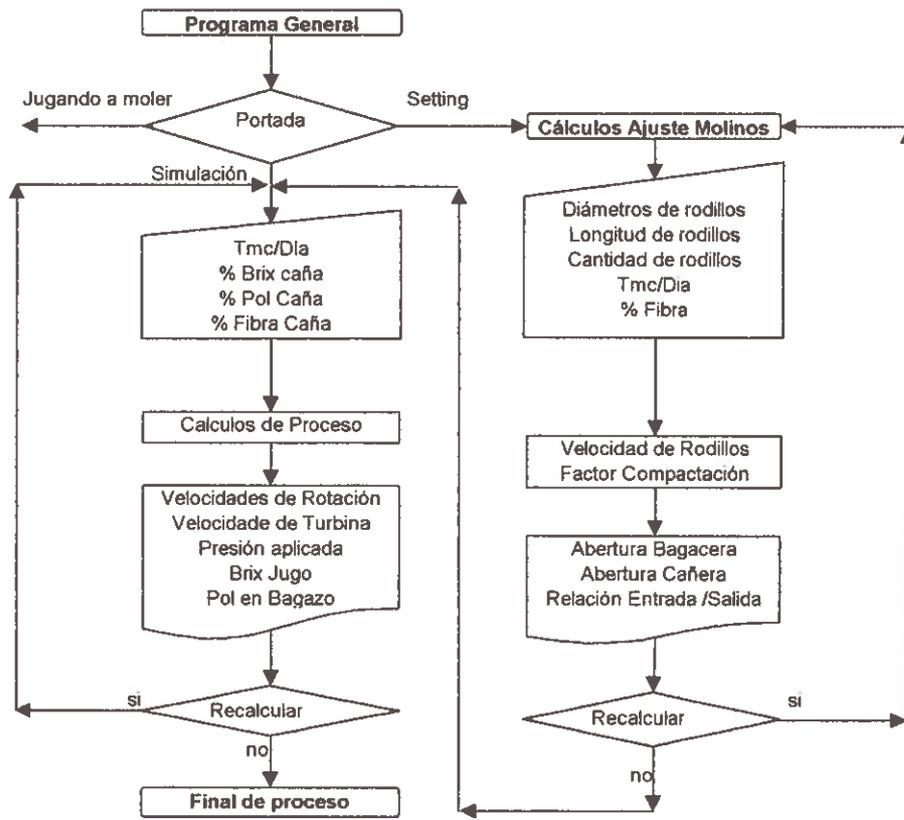


Fig. 3,1,- Diagrama de Programa

En la figura 3.1 se esquematiza diagramas de proceso que conforma el programa.

# CAPITULO 4

## 4. ANALISIS DE RESULTADOS.

### 4.1 INTERPRETACION DE RESULTADOS.

**CALIBRACION.-** Para determinar la calibración de montaje del trapiche se toma en cuenta varios aspectos:

- a) Cuanta caña existe en el campo para ser procesada durante la zafra.
- b) Se analiza la fibra de caña en los últimos 10 años, sacando un promedio.
- c) Campo analiza la caña y estima valores de Brix y Pol en caña.
- d) Los diámetros de mazas que van a ser usados.

En el Ingenio San Carlos se estimó que para el año 1999 se tendrían 1'600.000 TMC, cantidad que debía ser procesada en los dos trapiches durante 200 días de zafra.

Una de las metas de la fábrica en este año es reducir su tiempo perdido al 20%, lo que implicaría 160 días netos de molienda. Tomando en cuenta que el trapiche "A" muele aproximadamente el 30% del total de la caña, se esperaba que por este pasaran 3000 TMC/Día y por el trapiche "B" 7000 TMC/Día.

Luego se procede a revisar el banco de datos de laboratorio de fábrica donde se encuentra una fibra promedio en los últimos años entre 12,5% y 13,4%.

Aquí es necesario acotar que este año en especial no se podía usar el promedio histórico de la fibra de caña, por cuanto en la mitad del semestre del año 1997, el fenómeno del niño ocasionó la suspensión repentina de la zafra en ese año, quedando aproximadamente un 70% de la caña para el año 1998.

En el año 1998 existían 1'800.000 TMC, que no iban a ser procesadas en su totalidad, creando una expectativa para el año 1999 donde aún se contaba con caña rezagada de 1 y hasta dos años.

La experiencia en estos dos años indicaba que la fibra de caña debería estar entre 15% y 18% al inicio de temporada de zafra, posteriormente este valor disminuiría hasta los valores históricos anteriormente descritos.

Caso parecido ocurriría con el Brix de jugo en la caña, porque al inicio se encontraría caña aguarapada, caña acostada, rebrotes y caña seca, que no es otra cosa que caña en mal estado, por ello se tomaría un Brix entre 9% y 12%, y al final Brix normales de 18%.

#### SALIDAS de MOLINOS TRAPICHE A(pulg)

	METODO	DESM.	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
PRIMERA FASE	BRASIL	0,813	0,667	0,454	0,296	0,256	0,227	0,209
	HUGOT (1)	1,008	0,748	0,487	0,371	0,350	0,327	0,250
	HUGOT (2)	0,927	0,715	0,466	0,357	0,333	0,310	0,236
SEGUNDA FASE	BRASIL	0,598	0,490	0,334	0,218	0,188	0,167	0,154
	HUGOT (1)	0,721	0,535	0,348	0,265	0,250	0,234	0,179
	HUGOT (2)	0,682	0,526	0,343	0,262	0,245	0,228	0,173

### ENTRADAS de MOLINOS TRAPICHE A (pulg)

	METODO	DESM.	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
PRIMERA FASE	BRASIL	1,871	1,668	1,181	0,800	0,718	0,658	0,627
	HUGOT (1)	2,318	1,870	1,267	1,002	0,979	0,948	0,749
	HUGOT (2)	2,132	1,788	1,212	0,963	0,932	0,899	0,707
SEGUNDA FASE	BRASIL	1,375	1,226	0,868	0,588	0,528	0,484	0,461
	HUGOT (1)	1,657	1,337	0,906	0,717	0,700	0,678	0,536
	HUGOT (2)	1,568	1,315	0,891	0,708	0,685	0,661	0,520

Tabla IV.- Calibración de molinos Trapiche A para 3000TMC/Día

Con todo lo expuesto anteriormente se puede analizar dos tipos de calibración la primera fase para caña rezagada y la segunda fase para caña normal, estos dos casos serán tratados en la tabla IV.

Para la primera fase se toma como referencia una capacidad de molienda de 3000TMC/Día, con una fibra en bagazo de 17% y un Brix de 12%. En cambio para la segunda fase la fibra en bagazo disminuye a 12,5% y el Brix sube a 19%.

## SALIDAS de MOLINOS (pulg)

	METODO	DESM.	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
4500 TMC/Día	BRASIL	0,897	0,736	0,501	0,327	0,283	0,250	0,725
	HUGOT (1)	1,121	0,832	0,542	0,413	0,389	0,364	0,278
	HUGOT (2)	1,022	0,789	0,514	0,393	0,367	0,342	0,260
6000 TMC/Día	BRASIL	1,196	0,981	0,668	0,436	0,377	0,334	0,307
	HUGOT (1)	1,535	1,139	0,742	0,565	0,532	0,498	0,380
	HUGOT (2)	1,363	1,052	0,686	0,524	0,489	0,456	0,347

## ENTRADAS de MOLINOS (pulg)

	METODO	DESM.	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
4500 TMC/Día	BRASIL	2,063	1,839	1,302	0,883	0,792	0,725	0,691
	HUGOT (1)	2,579	2,081	1,410	1,115	1,089	1,055	0,834
	HUGOT (2)	2,351	1,972	1,337	1,062	1,027	0,992	0,780
6000 TMC/Día	BRASIL	2,751	2,452	1,736	1,177	1,056	0,967	0,922
	HUGOT (1)	3,530	2,848	1,929	1,526	1,490	1,445	1,141
	HUGOT (2)	3,135	2,630	1,782	1,416	1,370	1,322	1,040

Tabla V.- Calibración de molinos Trapiche A

En la tabla V, se realiza un análisis de las aberturas para procesar 4500 TMC/Día y 6000 TMC/Día bajo condiciones normales, es decir, Brix 19% y fibra en caña 12,5%.

Compárese los datos obtenidos a 3000 TMC/Día y una fibra de 17%, con los obtenidos a 4500 TMC/Día y una fibra de 12,5%, se observa que mientras la fibra desciende 26% la capacidad de molienda aumenta en la en la misma cantidad, Nótese que las aberturas son similares, con esto se demuestra que los molinos procesan fibra en caña, y no peso de caña.

**Parámetros de molienda recomendados.-** Previamente determinada la calibración de montaje de los molinos, se utiliza la segunda parte del programa, en el cuál indicamos la cantidad y tipo de caña a moler durante un día cualquiera de zafra.

En la tabla VI se indican valores de velocidades y presiones recomendadas de acuerdo a la cantidad de caña a moler un día determinado, con una calibración inicial de 6000 TMC/Día, asumiendo una fibra en caña de 12,5%.

En la tabla VI, se puede observar que mientras la velocidad en los molinos aumenta en la misma proporción que la capacidad de

molienda, la presión máxima permisible disminuye en la misma proporción.

CAPACIDAD DE MOLIENDA		DESM,	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
3000 TMC/Día	PRESION (psi.)	5000	3900	4300	4600	7600	7900	8000
	VELOCIDAD (r.p.m.)	3,8	4,8			4,2	4,0	4,0
4000 TMC/Día	PRESION (psi.)	3700	2900	3100	3400	5600	5800	5900
	VELOCIDAD (r.p.m.)	5,1	6,4			5,6	5,4	5,3
5000 TMC/Día	PRESION (psi.)	3000	2250	2500	2700	4400	4600	4700
	VELOCIDAD (r.p.m.)	6,4	8,0			7,0	6,7	6,6
6000 TMC/Día	PRESION (psi.)	2500	1900	2000	2200	3650	3800	3900
	VELOCIDAD (r.p.m.)	7,6	9,6			8,3	8,0	8,0

Tabla VI.- Parámetros recomendados para moler Trapiche A

Las turbinas del cuarto, quinto y sexto molino tienen la misma potencia, nótese que la presión máxima que puede ser aplicada para 3000 TMC/Día aumenta ligeramente en cada molino, lo mismo ocurre cuando se procesa 4000, 5000 y 6000 TMC/Día. Es necesario considerar que para tener una buena extracción se requiere que el cilindro superior flote, por ello no se recomienda llevar la presión hasta su límite máximo.

**Comportamiento de los parámetros del proceso.-** En la tercera parte del programa se pueden analizar independientemente los parámetros del proceso, y observar su efecto.

En la tabla VII-a se muestran los parámetros para una molienda de 3910 TMC/Día, aquí se trabaja con las velocidades de las turbinas, se hace una relación de potencia consumida en cada molino, torque empleado, flotaciones, y presiones aplicadas.

PARAMETRO	DESM	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
VELOCIDAD EN RPM	5,2 rpm	6,0 rpm	6,5 rpm	7,3 rpm	5,7 rpm	5,5 rpm	5,3 rpm
VELOCIDAD DE TURBINAS	2900 rpm	3300 rpm			2650 rpm	2550 rpm	2450 rpm
PRESION MAX. APLICADA	2845 psi	3100 psi	3100 psi	2900 psi	3600 psi	3800 psi	3960 psi
POTENCIA REQUERIDA	307 HP	400 HP	398 HP	400 HP	395 HP	405 HP	403 HP
FLOTACION	0 mm	1 mm	1 mm	-2 mm	-1 mm	-2 mm	0 mm
TORQUE EMPLEADO	310 Klb-pie	324 Klb-pie	322 Klb-pie	323 Klb-pie	366 Klb-pie	389 Klb-pie	403 Klb-pie

Tabla VII - a Parámetros de molienda a 4000 TMC/Día

La primera observación que salta a la vista es la no-flotación de los molinos, a pesar de que la demanda de potencia sólo es máxima en la turbina de los molinos 1-2-3.

Nótese que al aumentar la velocidad de la turbina de la desmenuzadora un 10,34% ó en 300 r.p.m., la capacidad de molienda aumenta en un 10,36%, la potencia consumida de las demás turbinas aumenta entre un 3,5% -3,7%.

Si por el contrario se disminuye la velocidad de la turbina de la desmenuzadora en un 10,34% ó en 300 r.p.m., la capacidad de molienda disminuye un 10,33%, la potencia consumida por el resto de turbinas desciende entre un 3,8 - 4,1%. Se puede observar también que el tercer molino empieza a tener problemas de baja flotación, es decir, el bagazo va a empezar a salir húmedo, repercutiendo en la extracción del molino.

Si se realiza este análisis en una de las turbinas del trapiche delante de los primeros molinos manteniendo la molienda estable, el molino no flotará, si se aumenta demasiado la velocidad, aumentará la humedad y disminuirá la extracción de este, por el contrario si se disminuye mucho la velocidad de la turbina para aumentar el tiempo de retención de bagazo, el molino tenderá a atorarse, además, el torque aplicado sobre la transmisión aumentará. Debe tomarse muy en cuenta el torque aplicado porque este define la posible falla de la transmisión, en el programa se realiza un análisis de torque empleado sobre la

transmisión del molino específicamente no de los dientes del piñón mayor de la última reducción.

PARAMETRO	DESM	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4	MOL 5	MOL 6
VELOCIDAD EN RPM	6,1 r.p.m.	6,3 r.p.m.	6,9 r.p.m.	7,8 r.p.m.	6,6 r.p.m.	7,4 r.p.m.	7,3 r.p.m.
VELOCIDAD DE TURBINAS	3400 r.p.m.	3500 r.p.m.			3100 r.p.m.	3450 r.p.m.	3400 r.p.m.
PRESION MAX. APLICADA	1800 psi	2800 psi	2900 psi	3000 psi	2900 psi	3000 psi	3500 psi
POTENCIA REQUERIDA	240 HP	400 HP	410 HP	440 HP	380 HP	414 HP	471 HP
FLOTACION	2 mm	3 mm	3 mm	-1 mm	0 mm	-2 mm	0 mm
TORQUE EMPLEADO	207 klb-pie	307 klb-pie	312 klb-pie	335 klb-pie	302 klb-pie	294 klb-pie	339 klb-pie

Tabla VII-b.- Parámetros de molienda a 4600 TMC/Día

Al ritmo de molienda establecido en la tabla VII-b, corresponde a un día determinado donde el operador ha registrado determinadas presiones y velocidades que el creía recomendables, se realiza un análisis y se observa que el trapiche tiene dos molinos que no realizan un trabajo 100% efectivo, como es el caso del tercer y quinto molino, esto se puede observar en la flotación. En cuanto a la potencia utilizada, sólo la turbina de los molinos 1-2-3 está exigida, el resto de turbinas tienen una demanda de potencia entre el 63% y el 78,5%.

Para el caso del Trapiche B, se debe tomar en cuenta que al tener un cuarto cilindro en el molino, la capacidad de molienda se ve

incrementada en un 30%, incrementándose por ende la potencia consumida por el bagazo en el molino en un 11% y la consumida por los elementos mecánicos adicionales del molino en 1.2%.

En la tabla VIII, se analizan los parámetros de molienda a 8200 TMC/Día del trapiche B, con su respectivo setting.

PARAMETRO	MOL 1	MOL 2	MOL 3	MOL 4
ENTRADA DEL MOLINO (pg.)	2.093	1.542	1.202	1.046
SALIDA DEL MOLINO (pg.)	1.046	0.642	0.445	0.349
VELOCIDAD EN RPM	6.6	6.5	6.0	6.0
VELOCIDAD DE TURBINAS	3500 r.p.m.	3420 r.p.m.	3200 r.p.m.	3200 r.p.m.
PRESION MAX. APLICADA	3000 psi	3500 psi	3800 psi	3900 psi
POTENCIA REQUERIDA	894 HP	897 HP	897 HP	893 HP
FLOTACION	12 mm	9 mm	7 mm	5 mm
TORQUE EMPLEADO	711 Klb-pie	730 Klb-pie	780 Klb-pie	777 Klb-pie

Tabla VIII.- Parámetros de molienda a 8000 TMC/Día, trapiche B

**Análisis de pérdidas basándose en la humedad del bagazo.-** Las dos últimas hojas de cálculo se encargan de analizar los resultados del proceso en función de rendimientos de la producción, En el programa se analiza los datos de humedad del bagazo a la salida del molino y

estima que valores finales deben tener los parámetros del proceso, indicando, además, que cantidad de azúcar se estima por cada TMC.

Trapiche	Molino N°	Variación % Humedad	Variación de rendimiento	Sacos de azúcar/100 TMC
A	Desmen	1%	0,02 Kg/TMC	0,04
A	1	1%	0,22 Kg/TMC	0,44
A	2	1%	0,23 Kg/TMC	0,46
A	3	1%	0,30 Kg/TMC	0,6
A	4	1%	0,21 Kg/TMC	0,42
A	5	1%	0,26 Kg/TMC	0,52
A	6	1%	0,43 Kg/TMC	0,86
B	1	1%	0,13 Kg/TMC	0,26
B	2	1%	0,39 Kg/TMC	0,78
B	3	1%	0,12 Kg/TMC	0,24
B	4	1%	0,45 Kg/TMC	0,9

Tabla IX.- Rendimiento por sacos en función de la humedad del bagazo

En la tabla IX se observa que efecto tiene un punto adicional en la humedad del bagazo al relacionarlo con el rendimiento de sacos de azúcar por cada 100 TMC.

La humedad del bagazo a la salida de cada molino, está relacionada con varios factores, los que se pueden definir como de montaje y de proceso.

La calibración inicial, la capacidad de desalojo de jugo en cada molino, el estado de los raspadores, la calidad del blindaje en los cilindros, son varios de los factores de montaje. La velocidad de los rodillos, la presión aplicada en los cabezales hidráulicos, la flotación en los molinos, se definirán como factores de proceso.

El programa generado al sugerir que luces deben haber entre los cilindros, las velocidades que se deben aplicar, las presiones máximas permisibles, persigue que se logre una molienda continua con la máxima eficiencia posible desde el punto de vista mecánico y de extracción de sacarosa.

En la tabla X - a y X - b se estudia la eficiencia del trapiche A un día determinado, usando un método de laboratorio y los datos obtenidos en la hoja de Excel, Se puede observar que las lecturas de humedad en el bagazo de los molinos en orden ascendente es 62%, 68%, 60.50%, 58%, 52%, 50% y 48%

Este primer ejercicio se realizó con velocidades en las turbinas que el operador estimaba eran correctas, En el informe de laboratorio existe un cuadro donde se analiza la extracción de pol en cada molino y del cuál se puede deducir lo siguiente.

- a) Desmenuzadora.- El porcentaje de extracción real es más bajo que el teórico en un 10,1%, el % pol en el bagazo real es 2.6% más bajo que el teórico. En la desmenuzadora las cajas de los bronce están en mal estado y no permite colocar más presión.
  
- b) Molino 1.- El porcentaje de extracción real es más alto que el teórico en 26.7%. hay que tener siempre claro que el trabajo que no realice un molino se recarga sobre el siguiente, esto se refleja inclusive en el brix de la maceración que resulta más alto el real.
  
- c) Molinos 2 y 3.- La diferencia en la extracción de estos molinos no excede el 5%.
  
- d) Molino 4.- El porcentaje de extracción real es mas alto que el simulado en un 30%.
  
- e) Molinos 5 y 6.- La extracción real esta por debajo de la teorica en 5% y 10% respectivamente.

Normalmente este análisis tan exhaustivo no es realizado en el laboratorio, sólo se rigen al control de los molinos por medio de las

**Tabla X.a.- Eficiencia del Trapiche A (Metodo de laboratorio)**

% de pol en caña (del día)	12.89	Pol Mac 2	7.59
% fibra en caña	13.64	Pol Mac 3	5.24
% pol bagacillo 2, análisis	2.83	Pol Mac 4	4.53
% de peso en bagacillo 2	18.00	Pol Mac 5	2.95
Molida/hora	112.5		
Jugo diluido	Brix 13.66	Pureza	84.26
			Brix Diluido

	MOLINO N°					
	1	2	3	4	5	6
<b>Datos de Lecturas</b>						
Humedad del bagazo (Diseño)	71.00	59.00	55.00	52.00	50.00	48.00
<b>A</b> Humedad del bagazo	62.00	60.50	58.00	60.00	53.80	50.10
<b>B</b> % de pol en bagazo	12.69	8.25	6.76	4.87	3.81	2.88
<b>C</b> Brix de jugo bagacera (residual)	17.00	16.20	13.50	9.05	6.53	4.21
<b>D</b> Pol de jugo bagacera (residual)	14.74	14.02	11.44	7.49	5.34	3.40
<b>E</b> Rpm Por molino			9.39			
Flotaciones (puig)						

	Cálculos					
1 Pza. Jugo Bagacera (residual)	86.72	84.72	83.72	82.72	81.72	80.72
2 Brix en el bagazo	14.63	9.74	8.07	6.01	4.66	3.32
3 % fibra en el bagazo	23.37	29.25	33.93	33.99	41.54	46.58
4 % de bagazo en caña	58.46	46.70	40.26	40.19	32.88	29.33
5 Pol entrando al molino	12.89	7.42	5.66	2.81	2.00	1.25
6 Pol saliendo del molino	7.42	5.15	3.79	2.72	2.00	0.79
7 Pol extraído del molino	5.47	2.27	1.87	0.81	0.74	0.47
8 % de extracción en el molino	42.45	30.57	33.10	28.12	31.27	37.27
9 Ext en el tandem de molinos	75	40	27.5	20	21	25
	90.26					

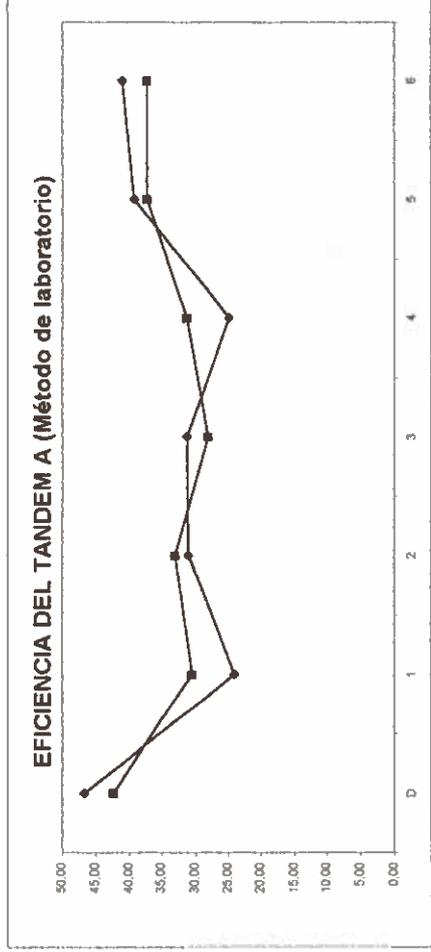




Tabla XI-a.- Eficiencia del Trapiche B (Metodo de laboratorio)

EFICIENCIA DEL TANDEM B (Metodo de laboratorio)

Molida/Hora: 350  
 Temp: 69 °C  
 Pol mac. 2: 5,84  
 Pol mac. 3: 2,86  
 Brix mac 2: 7,85  
 Brix mac 3: 4,50  
 Pza mac 2: 74,39  
 Pza mac 3: 63,56

Hora: 3-Sep-99  
 Ton. Agua: 70  
 % pol bagacillo 3, analisis: 1,54  
 % de peso en bagacillo 3: 14,40  
 % extracción: 93,36

Pureza: 79,57

Pol: 9,15

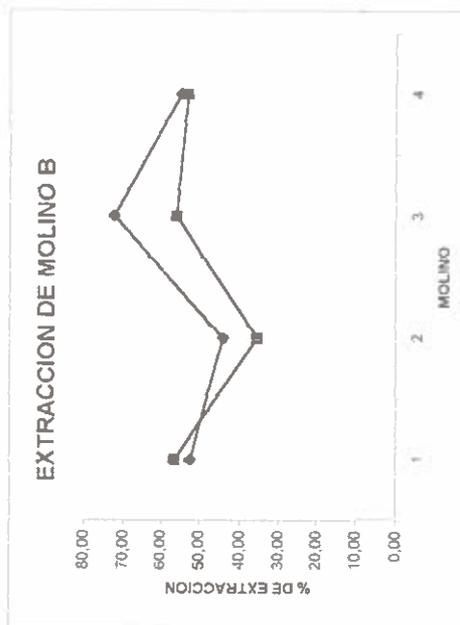
Brix: 11,5

Jugo diluido:

Datos de Lecturas	MOLINO N°			
	1	2	3	4
Humedad del bagazo	65,10	65,80	59,70	52,90
% de pol en bagazo	10,25	7,84	5,01	2,99
Brix de jugo bagacera (residual)	14,50	11,35	9,70	3,80
Pol de jugo bagacera (residual)	12,00	9,30	7,55	2,89
Rpm Por molino	2800	3300	3300	2900
Flotaciones (pulg)				

Cálculos

Pza. Jugo Bagacera (residual)	82,76	81,94	77,84	76,05
Brix en el bagazo	12,39	9,57	6,44	3,93
% fibra en el bagazo	22,51	24,63	33,86	43,17
% de bagazo en caña	51,08	46,69	33,96	26,64
Pol entrando al molino	12,00	5,68	3,88	1,70
Pol saliendo del molino	5,24	3,66	1,70	0,80
Pol extraido del molino	6,76	2,02	2,18	0,90
% de extracción en c/molino	56,37	35,61	56,17	53,18
% de ext Esperado en c/molino	80	40	40	30
Ext en el tandem de molinos	93,36			



# Tabla XI-b.- Eficiencia del Trapiche B (Metodo de laboratorio)

	Molino # 1	Molino # 2	Molino # 3	Molino # 4	Molino # 5
Humedad	65,10%	65,80%	59,70%	52,90%	
Brix en bagazo	13,30%	10,45%	5,61%	3,28%	
Pol en bagazo	11,00%	8,44%	4,30%	2,45%	
% Fibra en Bagazo	21,60%	23,75%	34,69%	43,82%	
Brix de jugo	14,50%	12,49%	8,86%	4,34%	
Extracción del molino	52,38%	44,26%	72,62%	54,92%	
Extracción 100%	23,37%	19,74%	32,39%	24,50%	
Ext.de jugo mezclado	96,96%		Ext. De Pol	94,77%	

Brix 14,50%  
 pol 12,00%  
 fibra 14,50%

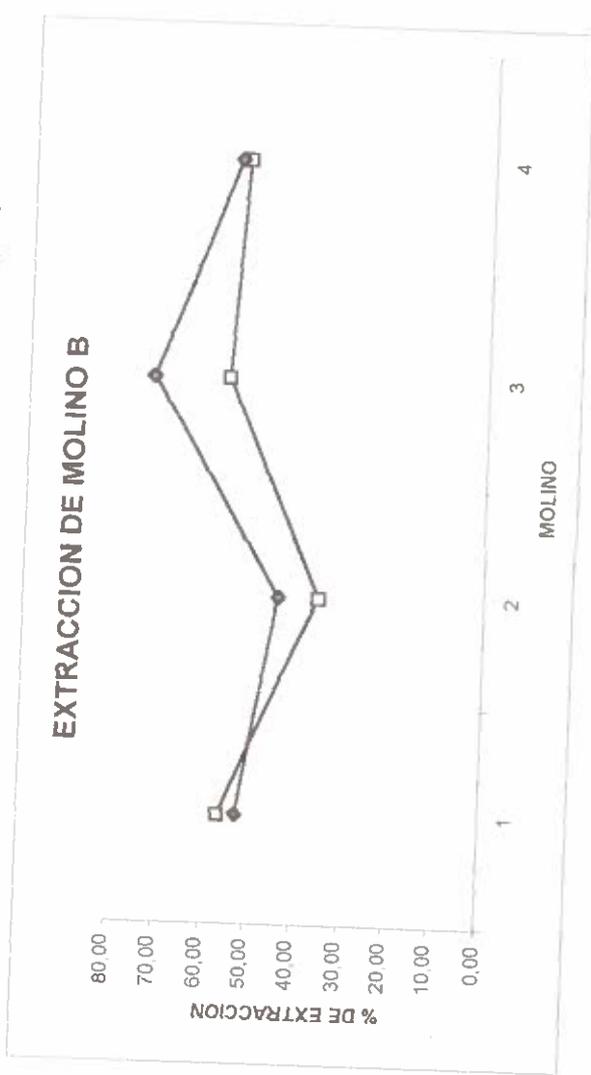
Maceración # 1 8,86%  
 Maceración # 2 4,34%

Maceración # 1 8,86%  
 Maceración # 2 4,34%  
 Brix Diluido 11,22%

JUGO DILUIDO  
 Pureza 80,76%  
 Brix 11,22%  
 Pol 9,06%

Pérdida de  
 azucar estimado 19,70 Kg/TMC

Rendimiento  
 Estimado 72,87 Kg/TMC



[Variar parámetros de Trapiche A](#)  
[Volver a Simular](#)



curvas de Brix, Por lo tanto si se comparan los valores teóricos con los encontrados en laboratorio se observa que la mayor diferencia está en la desmenuzadora, el tercer, quinto y sexto molino esto es debido a la fuerte caída de pureza.

Un análisis similar se puede realizar en las tablas XI-a y XI-b, que corresponden a datos colectados de pruebas realizadas en el trapiche B.

#### **4.2 CORRECCIONES OPERACIONALES EN EL PROCESO**

De lo analizado anteriormente se pueden mencionar las siguientes causas:

- a) Una mala elección en la calibración inicial de los molinos no permite una correcta flotación, permitiendo una reabsorción de jugos entre las mazas bagaceras y superiores, Esta corrección puede ser ejecutada parcialmente una vez armado el molino, puesto que, está limitada la entrada de la maza bagacera por la posición y tamaño de la cuchilla central, y la ubicación del puente tornabagazo, El cerrar la salida del molino, involucra también que debe cerrarse la entrada, Para información general la cuchilla central limpia la maza cañera y es de acero fundido,

- b) Un mal trabajo de los raspadores de los meashester, o tacos formados por el bagazo en los canales laterales del molino, dispuestos para el desalojo del jugo, permite que éste supere la maza superior y entre en contacto con el bagazo a la salida del molino, esto ocurre en el segundo, tercer y hasta en el cuarto molino, Este problema tiene varias soluciones, como el supervisar que se realice una correcta limpieza y mantenimiento de los ductos de desalojo de jugos para no permitir la formación de tacos, Para la zafra del año 2000, se van a implementar unas bandejas que se encarga de recoger el jugo que supera la maza superior y lo desvía a las bandejas de jugo.
- c) La velocidad excesiva de la turbina del molino no da el tiempo requerido para el desalojo del jugo contenido en el bagazo, por ello no se deben permitir velocidades que el operador estime convenientes, sino las velocidades recomendadas en el programa, Es muy posible que estas sufran pequeñas alteraciones pero eso es debido al estado de las mazas o a la variación momentánea de la fibra en la caña.
- d) Demasiada humedad del bagazo a la entrada del molino hace que el jugo supere la maza superior y entre en contacto este jugo con el

bagazo que sale del molino, Para corregir esto se debe revisar el estado y las condiciones de trabajo del molino anterior.

e) Observando los valores de % brix en la maceración, se puede notar que hay pase de jugo del tanque de maceración # 3 al tanque de maceración # 4, Se puede permitir que un jugo con menos Brix contamine a uno con mayor Brix pero no lo contrario. Para corregir esto se va a construir un tanque de acero inoxidable para evitar el deterioro de los mismos.

f) A mas de lo enunciado anteriormente en el quinto molino del trapiche A, se encontró mal ubicada la aplicación del agua de imbibición al sexto molino, puesto que el agua no retenida por el bagazo se mezclaba con el jugo de maceración al cuarto molino.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Varios son los factores que afectan la extracción de los molinos estos son:

1. Diseño de la calibración inicial del molino: Ajuste de mazas, Diseño y ubicación de cuchilla central, disposición de presiones aplicadas. En el caso del trapiche A prácticamente sólo están trabajando el Quinto y sexto molino, debido a que se está usando un ajuste para 6000 TMC/Día en los primeros cuatro molinos y uno para 4500 TMC/Día por lo que se sugiere cambiar los ajustes en los primeros cuatro. En la tabla XII se presenta los valores de cómo está dispuesta la calibración en los molinos de ambos trapiches y cómo se sugiere debe ir.
2. En el caso del trapiche B, se recomienda moler más bajo, para salvaguardar la vida útil de las transmisiones, eso involucra cambiar los ajustes de calibración, como son entradas/salidas de los molinos, y ajuste de cuchilla. Al disminuir la velocidad de los molinos, se mejora el tiempo de retención del bagazo en el molino para poder exprimir la mayor cantidad de jugo, si un molino tiene una elevada velocidad, este no hará

	Trapiche A, 6000 Tmc/Día		Trapiche B, 6500 Tmc/Día	
	Actual	Sugerido	Actual	Sugerido
Desm.	2.500	3.135		
Molino 1	3.750/1.500	2.630/1.052	2.125/1.000	2.093/1.046
Molino 2	3.250/1.250	1.782/0.686	2.000/0.688	1.542/0.642
Molino 3	2.500/1.063	1.416/0.524	1.250/0.375	1.202/0.445
Molino 4	2.375/0.625	1.370/0.489	1.000/0.250	1.046/0.349
Molino 5	2.250/0.625	1.322/0.456		
Molino 6	1.625/0.250	1.040/0.347		

Tabla XII.- Comparación de ajuste

una buena extracción y recargará al otro molino, este a su vez al siguiente y así sucesivamente. Debe recordarse que al disminuir la velocidad disminuye la potencia consumida y por ende el consumo de vapor, pero el torque aplicado en la transmisión y/o reductores aumenta, esto puede incurrir en la falla de la transmisión. La rotura de matrimonios, la fisura en la corona de los engranajes de los reductores, el "pitting" y la deformación plástica en los dientes de los engranes de la tercera reducción, todos estos casos son por la presencia de elevados torques.

3. El estado físico del molino, se debe observar la forma y tipo de aportación de soldadura a las mazas, el estado de los bronce de los muñones y áreas de desalojo del jugo despejado.

**Tabla V.- Relación de pérdidas en función de la humedad del bagazo**

Costo saco de Azúcar		\$ 18,00	Rendimiento de caña		220,00 Lb/TMC		
Costo Producción est.		\$ 43.121.597,10	Molienda Zafra		1.200.000 TMC		
Trapiche	Molino N°	Variación % Humedad	Variación de rendimiento	Sacos de azúcar/100 TMC	Valor	Valor zafra	% Valor zafra
A	Desmen	1%	0,02 Kg/TMC	0,032	\$ 0,58	\$ 2.073,60	0,00%
A	1	1%	0,18 Kg/TMC	0,352	\$ 6,34	\$ 22.809,60	0,05%
A	2	1%	0,18 Kg/TMC	0,368	\$ 6,62	\$ 23.846,40	0,06%
A	3	1%	0,24 Kg/TMC	0,48	\$ 8,64	\$ 31.104,00	0,07%
A	4	1%	0,17 Kg/TMC	0,336	\$ 6,05	\$ 21.772,80	0,05%
A	5	1%	0,21 Kg/TMC	0,416	\$ 7,49	\$ 26.956,80	0,06%
A	6	1%	0,34 Kg/TMC	0,688	\$ 12,38	\$ 44.582,40	0,10%
B	1	1%	0,10 Kg/TMC	0,208	\$ 3,74	\$ 31.449,60	0,07%
B	2	1%	0,31 Kg/TMC	0,624	\$ 11,23	\$ 94.348,80	0,22%
B	3	1%	0,10 Kg/TMC	0,192	\$ 3,46	\$ 29.030,40	0,07%
B	4	1%	0,36 Kg/TMC	0,72	\$ 12,96	\$ 108.864,00	0,25%
					<b>Totales</b>	<b>\$ 436.838,40</b>	<b>1,01%</b>
		Pérdidas por		0,01 Kg/TMC	\$ 0,29	\$ 3.456,00	0,01%
		0,01 % Pol	0,08 Kg/TMC	0,16	\$ 2,88	\$ 34.560,00	0,08%
		2,00 % Pol	16,00 Kg/TMC	32	\$ 576,00	\$ 6.912.000,00	16,03%
Perdidas en arranques A		10	11,1			\$ 144.000,00	
Perdidas en arranques B		1	1,1			\$ 33.600,00	
Costo Pol A		1,00 % Pol	8,00 Kg/TMC	16	\$ 288,00	\$ 1.036.800,00	2,40%
Costo Pol B		1,00 % Pol	8,00 Kg/TMC	16	\$ 288,00	\$ 2.419.200,00	5,61%
Costo Pol A+B						\$ 3.456.000,00	

4. La presión aplicada en los cabezales hidráulicos, debe ser la necesaria para mantener la flotación deseada, de tal manera que la maza superior suba y baje de acuerdo al colchón de caña. Si se emplea una presión mayor lo que se va a lograr es un consumo excesivo de potencia por parte de la turbina al cuál no se le saca provecho.
  
5. La aplicación correcta de la imbibición en la cantidad recomendada 180 - 200 imbibición % fibra. Cuando se manejan altos volúmenes de carga en la molienda, se sugiere que la aplicación de agua caliente sea con presión. La distancia del punto de aplicación va en función de la velocidad promedio de alimentación del conductor, para permitir un 100% de absorción del agua por el bagazo.

Los factores enunciados anteriormente pueden ser analizados en función de la humedad del bagazo a la salida del molino, y es representado con costos en la tabla XII. Nótese que 1% de humedad generalizado en los dos trapiches puede llegar a tener un costo de \$ 500.000.

Puede notarse en todos los ejemplos de simulación que la turbina de los molinos 1-2-3 del trapiche A, esta continuamente dando el máximo de potencia, y que las turbinas de los molinos 4-5-6 están trabajando siempre holgadas de potencia, por tanto, se sugiere eliminar la desmenuzadora, colocar en ese sitio el primer molino con una turbina de 600 HP, dejar la

turbina de 1200 HP para los molinos 2-3, aumentando de esta manera el índice HP/Ton de caña del trapiche, habría otro beneficio, como el poder adicionar la cuarta maza en cada molino.

El trabajo que está haciendo actualmente en conjunto la desmenuzadora y el primer molino, es similar al que haría un molino con cuarta maza, la ventaja del último es que forzaría la alimentación aumentando capacidad, por tanto, se puede concluir que no habrá, mayor variación el la pol en el bagazo después del sexto molino, pero si habrá un aumento sustancial en la capacidad de molienda.

En el análisis de resultado se determinó que al adicionar la cuarta maza el incremento en la molienda sería de aproximadamente 30%, mientras que el HP adicional requerido sería del 17%, que está disponible por el lado de las turbinas, en cuanto al incremento de vapor sólo sería de 200 HP instalados, lo que se representa un consumo adicional de 7.000 k-lb./hora de vapor.

En el trapiche B, el setting es muy similar al sugerido, por esto el aumento en la capacidad de molienda del trapiche A permitiría disminuir la molienda en el trapiche B y así lograr una mejor extracción en este.

Los costos operacionales de ambos trapiches también se verían reducidos, por los siguientes motivos:

## APÉNDICE A

### **Definiciones utilizadas en la industria azucarera.**

**Agua de Dilución.-** Es la cantidad de agua de maceración o de imbibición que queda en el jugo mixto o mezclado.

**Agua de Imbibición.-** Es el agua que se coloca sobre el bagazo del penúltimo o último molino.

**Azúcar.-** Cristales de sacarosa que son extraídos en la fábrica por el centrifugado de una determinada masa. Los azúcares son clasificados dependiendo del tipo de masa.

**Azúcares Invertidos.-** Es una mezcla equimolecular de glucosa y fructosa, como resultado de la hidrólisis o inversión de la sacarosa.

**Azúcares Reductores.-** Son las sustancias reductoras existentes en la caña y sus productos, y se expresan como azúcar invertido. Los ejemplos más comunes de Azúcares Reductores son los de la glucosa y la fructosa.

**Azúcares Totales.-** Es la suma de sacarosa y azúcares reductores presentes en una muestra azucarada, normalmente expresados como azúcares totales reductores o invertidos.

**Bagacillo.-** Fracción fina de partículas que se han separado del bagazo.

**Bagazo.-** Residuo que se obtiene al moler la caña en uno o más molinos. Se llama respectivamente bagazo del primer molino, bagazo del segundo molino, etc., y bagazo del último molino, bagazo final o sencillamente bagazo. En general el término bagazo, se refiere al que sale del último molino a menos que se especifique otra cosa.

**Brix.-** Porcentaje en peso (P/P%) de sólidos disueltos en una solución. El Brix puede ser medido por medio del areómetro o hidrómetro y se llama Brix al hidrómetro, cuando se mide en el refractómetro se define como Brix - refractométrico.

**Cachaza.-** (Torta de los filtros), material o residuo eliminado del proceso de filtración.

**Caña.-** Material vegetal crudo del género *Saccharum* entregado a la fábrica, el cual incluye la caña limpia y la basura del campo.

**Ceniza.-** Residuo inorgánico que queda después de la combustión completa de la materia orgánica.

**Contenido de cristal.-** Peso de cristales de sacarosa en una masa, magma o similar, expresado en porcentaje del peso total.

**Dextrana.-** Polisacárido formado por unidades de glucosa, ocasionado por la acción de cierto género de bacterias del género *Leuconostoc* sobre la sacarosa cuando la caña o jugos son almacenados.

**Extracción.-** Es la proporción de un componente de la caña el cual es removido por la molienda. Se relaciona normalmente con los términos jugo y sacarosa.

**Fibra.-** Materia seca insoluble en agua que contiene la caña y el bagazo.

**Filtrado.-** Líquido que ha pasado a través del proceso de filtración.

**Gomas.-** Producto compuesto principalmente de polisacáridos los cuales pueden ser precipitados de productos azucarados por medio de una solución de alcohol fuerte. Las sustancias incluidas dentro de esta categoría son las Pectinas, Hemicelulosas, Oligosacáridos, Dextranas y Almidones solubilizados.

**Hidrómetro.-** (Areómetro), Instrumento utilizado para la determinación del Brix por densimetría. El Brix leído con este instrumento es denominado Brix al hidrómetro.

**Imbibición.-** Proceso en el cual se aplica agua o jugo al bagazo para aumentar la extracción de jugo del próximo molino.

**Impurezas.-** Término colectivo para todas las sustancias diferentes a la sacarosa, presentes como sólidos solubles totales dentro de la muestra.

**Jarabe.-** (Meladura), jugo concentrado por evaporación, antes de extraerle azúcar por cristalización.

**Jugo Absoluto.-** Todos los sólidos en solución que contiene la caña, dicho de otra manera el jugo absoluto es la caña menos la fibra.

**Jugo Clarificado.-** Es el jugo obtenido del proceso de clarificación.

**Jugo Diluido.-** (Mezclado), es la mezcla de los jugos primarios y secundarios enviados al proceso de elaboración.

**Jugo sin diluir.-** Es todo el jugo existente como tal en la caña.

**Jugo Filtrado.-** Jugo que ha pasado a través de la malla de los filtros.

**Jugo de Primera Extracción.-** Es el jugo extraído por las dos primeras masas de un trapiche de molinos.

**Jugo Primario.-** Es todo el jugo extraído en los molinos sin dilución.

**Jugo Residual.-** Es el jugo que queda en el bagazo, después de la salida del último molino. En la práctica, el jugo de la masa bagacera del último molino representa las características del jugo residual.

**Jugo Residual.-** Es el jugo que queda en el bagazo, después de la salida del último molino. En la práctica, el jugo de la masa bagacera del último molino representa las características del jugo residual.

**Jugo Secundario.-** Es el jugo primario que con el jugo diluido forman el jugo mezclado.

**Jugo de última extracción.-** Es el jugo que extraen las dos últimas masas del trapiche.

**Jugo del último molino.-** Es el jugo que extrae el último molino del trapiche.

**Lavado de Centrifugas.-** Miel diluida que pasa a través de la centrifuga durante el lavado y es recolectada separadamente.

**Maceración.-** Proceso en el cual el bagazo se satura con un exceso de agua o jugo para aumentar la extracción del jugo del próximo molino. (Este término se usa como sinónimo de imbibición).

**Magma.-** Mezcla de cristales de azúcar con un líquido como meladura, jugo o agua, producida por medios mecánicos.



**Masa Cocida.-** Concentrado de jarabe o miel, en el cual ha cristalizado el azúcar, o mezcla de cristales, y licor madre producida en los tachos. Las masas cocidas se designan por números o letras que indican su pureza relativa.

**Materia seca.-** Es el material que queda después de practicar la desecación a un producto.

**Melaza (Miel final).-** Es el residuo líquido del cual no resulta económico extraer más azúcar. Este producto también recibe el nombre en nuestro medio de Miel Tercera o simplemente Miel Final.

**Miel.-** Líquido madre que se separa de una masa cocida por medios mecánicos. Se denomina de acuerdo con la masa de donde se obtiene.

**Miel Invertida.-** Consiste en un jarabe denso invertido en un 75% obtenido por concentración del jugo de caña previamente clarificado y del que no se ha extraído ninguna forma de azúcar.

**Miel Virgen.-** Jarabe denso obtenido por la concentración del jugo de caña previamente clarificado y del que no se ha extraído ninguna forma de azúcar.

**No Sacarosa.-** Es la diferencia entre la Brix y la sacarosa.

**Peso Normal.-** Es el peso de sacarosa pura, la cual se ha disuelto en un volumen de agua de  $100\text{cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$ , esta solución da una lectura de  $100^\circ\text{S}$ , en la escala sacarimétrica leída en un tubo de 200 mm a  $20^\circ\text{C}$  de temperatura.

El peso normal de acuerdo a la escala internacional es de 26000 gramos de sacarosa pesada bajo condiciones atmosféricas normales.

**Pol.-** El término Pol es abreviatura de la palabra polarización. Es la lectura en la escala de polarímetro ( $^\circ\text{S}$ ). Si la muestra es una solución normal de azúcar la Pol es igual al porcentaje de sacarosa.

**Pureza.-** Es el porcentaje de sacarosa en el total de sólidos de una muestra. El término pureza generalmente significa pureza aparente.

**Pureza Clerget.-** Es el porcentaje de sacarosa determinada por doble polarización con relación al total de sólidos de la muestra.

**Pureza Real.-** Es el porcentaje de sacarosa en la materia seca real.

**Razón de Azúcares Reductores.-** Es la razón porcentual entre los azúcares reductores y la sacarosa. Se conoce como coeficiente glucósico.

**Razón de Azúcares Reductores a Ceniza.-** Es la razón entre el porcentaje de azúcares reductores y el porcentaje de cenizas.

**Razón de Java (Coeficiente).**- Es el porcentaje que expresa la relación entre la sacarosa en caña y la sacarosa en el jugo de primera extracción.

**Recuperación.**- Significa la sacarosa que se recupera en el azúcar comercial en porcentaje de sacarosa en caña.

**Sacarosa.**- Disacárido conocido como la  $\alpha$  - D -Glucopirasonil y el  $\beta$ - D - Fructofuranósido, cuya fórmula del compuesto químicamente puro es  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Este compuesto también es llamado azúcar de caña.

**Semilla.**- Azúcar pulverizada y seca que está en suspensión en un líquido inerte usado para suministrar o crear un núcleo de cristales para empezar una masa cocida.

**Sólidos insolubles (Suspendidos).**- Son sólidos presentes en el jugo u otro líquido, los cuales se pueden remover por medios mecánicos.

**Vapor.**- Vapor de agua liberado por la ebullición de soluciones de azúcar o por la ebullición del agua.

## APÉNDICE B.-

### Ecuaciones individuales para cada trapiche

Tiempo per./Tiempo total =  $(\Sigma \text{horas perdidas} + \Sigma \text{minutos perdidos}/60)/24$ .

Ton. de fibra en caña = Ton. de caña (Fibra % caña / 100)

Ton. Fibra /hora = Ton. de fibra / horas molidas

Extr. de jugo mezclado = Ton. jugo mezclado \* 100 / Ton. caña

Ton, sól. jugo mezclado = Ton. jugo mezclado (° Brix jugo mezclado /100)

Ton. pol jugo mezclado = Ton. jugo mezclado (Pol jugo mezclado /100)

Sólidos % bagazo = Pol % bagazo \* 100 / pureza del jugo residual

Fibra % bagazo =  $100 - (\text{sólidos \% bagazo} + \text{humedad \% bagazo})$

Bagazo % caña = Fibra % caña análisis \* 100 / Fibra % bagazo

Ton. bagazo = Ton. de caña (Bagazo % caña / 100) (Por análisis, sólo es referencia)

Fibra % caña = Ton. de bagazo ( Fibra % bagazo / 100) / Ton. de caña (Por cálculo, sólo es referencia)

Ton. de bagazo = Ton. de caña + Ton. de agua – Ton. de jugo

Ton. Pol en el bagazo = Ton. de bagazo ( Pol % bagazo / 100)

Ton. sólidos en el bagazo = Ton. de bagazo (sólidos % bagazo / 100)

Ton. Pol en caña = Ton. Pol en el jugo mezclado + Ton. Pol en el bagazo.

Ton. sólidos en caña = Ton. sólidos en el jugo mezclado + Ton. sólidos en el bagazo.

Extracción Pol = Ton. Pol en jugo mezclado \* 100 / Ton. Pol en

Extracción reducida =  $100 - (100 - \text{Fibra \% caña})(100 - \text{Extracc. Pol})$   
/ (Fibra %caña \* 7) 12.5 % fibra.

Pol % caña = Ton. Pol en caña \* 100 / Ton. de caña.

Imbibición % caña = Ton. de agua de imbibición \* 100 / Ton. de caña.

Imbibición % fibra = (Imbibición % caña \* 100) / Fibra % caña por análisis

Pérdida de molida = Pol % bagazo \* 100 / Fibra % bagazo

Ton. de hum. en bagazo = (Humedad %bagazo / 100 ) \* Ton. de bagazo

Ton. de cachaza = Ton. de caña \* Cte.

Ton. de Pol en cachaza = Ton. de cachaza (% Pol cachaza /100)

## APENDICE C.

Gravedad específica aparente a 20°C/20°C y peso por unidad de volumen a 20°C para soluciones de sacarosa.

Densidad aparente a 20°C = 0,99718 x gravedad específica aparente 20°C/20°C

Sólidos Refractométricos	Gravedad Específica aparente	Peso			Sólidos Refractométricos	Gravedad específica aparente	Peso		
		lb/ft	(lb/gl)	(g/l)			lb/ft	(lb/gl)	(g/l)
0,0	1,00000	62,25	8,322	997,18	5,0	1,01968	63,48	8,485	1016,80
0,1	039				5,1	1,02008			
0,2	078	0,30	0,328	997,96	5,2	048	0,53	0,492	1017,60
0,3	117				5,3	088			
0,4	156	0,35	0,335	998,74	5,4	128	0,58	0,499	1018,40
0,5	194				5,5	168			
0,6	233	0,39	0,341	999,50	5,6	208	0,63	0,503	1019,20
0,7	272				5,7	248			
0,8	312	0,44	0,348	1000,29	5,8	289	0,68	0,510	1020,01
0,9	351				5,9	329			
1,0	1,00390	62,49	8,354	1001,07	6,0	1,02369	63,73	8,519	1020,80
1,1	429				6,1	409			
1,2	468	0,54	0,360	1001,85	6,2	450	0,78	0,526	1021,61
1,3	507				6,3	490			
1,4	546	0,59	0,367	1002,62	6,4	530	0,83	0,532	1022,41
1,5	585				6,5	571			
1,6	624	0,63	0,374	1003,40	6,6	611	0,88	0,539	2023,22
1,7	663				6,7	652			
1,8	702	0,68	0,380	1004,18	6,8	692	0,93	0,546	1024,02
1,9	741				6,9	733			
2,0	1,00780	62,74	8,387	1004,96	7	1,02773	63,98	8,552	1024,83
2,1	819				7,1	814			
2,2	859	0,78	0,393	1005,75	7,2	854	64,03	0,559	1025,64
2,3	898				7,3	895			
2,4	937	0,83	0,400	1006,52	7,4	936	0,08	0,566	1026,46
2,5	977				7,5	976			
2,6	1,01016	0,88	0,406	1007,31	7,6	1,03017	0,13	0,572	1027,26
2,7	055				7,7	058			
2,8	094	0,93	0,413	1008,09	7,8	098	0,18	0,579	1028,07
2,9	134				7,9	139			
3,0	1,0117	62,98	8,419	1008,88	8,0	1,03180	64,23	8,586	1028,89
3,1	213				8,1	221			
3,2	252	63,03	0,426	1009,66	8,2	262	0,28	0,593	1029,71
3,3	292				8,3	303			
3,4	331	0,08	0,432	1010,45	8,4	344	0,33	0,600	1030,53
3,5	371				8,5	385			
3,6	410	0,13	0,439	1011,24	8,6	426	0,38	0,606	1031,34
3,7	450				8,7	467			
3,8	490	0,18	0,445	1012,04	8,8	508	0,43	0,613	1032,16
3,9	529				8,9	549			
4,0	1,01569	63,23	8,452	1012,83	9,0	1,03590	64,49	8,620	1032,98
4,1	609				9,1	631			
4,2	649	0,28	0,458	1013,62	9,2	672	0,54	0,627	1033,80
4,3	687				9,3	813			
4,4	726	0,33	0,465	1014,39	9,4	755	0,59	0,634	1034,62

Sólidos Refractométricos	Gravedad Específica aparente	Peso			Sólidos Refractométricos	Gravedad específica aparente	Peso		
		lb/ft	(lb/gl)	(g/l)			lb/ft	(lb/gl)	(g/l)
4,5	766				9,5	796			
4,6	808	0,38	0,471	1015,21	9,6	837	0,64	0,641	1035,44
4,7	848				9,7	879			
4,8	888	0,43	0,478	1016,01	9,8	920	0,69	0,648	1036,27
4,9	928				9,9	961			
10,0	1,04003	64,74	8,655	1037,10	15,0	1,06111	66,05	8,830	1058,12
10,1	044				15,1	154			
10,2	086	0,79	0,662	1037,92	15,2	197	0,10	0,837	1058,98
10,3	127				15,3	240			
10,4	169	0,84	0,669	1038,75	15,4	283	0,15	0,844	1059,83
10,5	210				15,5	326			
10,6	252	0,89	0,676	1039,58	15,6	369	0,20	0,851	1060,69
10,7	293				15,7	412			
10,8	335	0,94	0,682	1040,41	15,8	455	0,26	0,859	1061,55
10,9	377				15,9	499			
11,0	1,04418	65,00	8,689	1041,24	16,0	1,06542	66,32	8,866	1062,42
11,1	460				16,1	585			
11,2	502	0,05	0,696	1042,07	16,2	629	0,37	0,873	1063,20
11,3	544				16,3	672			
11,4	585	0,10	0,703	1042,90	16,4	715	0,42	0,880	1064,14
11,5	627				16,5	759			
11,6	669	0,15	0,710	1043,74	16,6	802	0,48	0,887	1065,01
11,7	711				16,7	845			
11,8	753	0,20	0,717	1044,58	16,8	889	0,53	0,894	1065,88
11,9	795				16,9	933			
12,0	1,04837	65,26	8,724	1045,41	17,0	1,06976	66,59	8,902	1066,74
12,1	879				17,1	1,0702			
12,2	921	0,31	0,731	1046,25	17,2	063	0,64	0,909	1067,61
12,3	963				17,3	107			
12,4	1,05005	0,36	0,738	1047,09	17,4	151	0,69	0,916	1068,49
12,5	047				17,5	194			
12,6	090	0,41	0,745	1047,94	17,6	238	0,75	0,924	1069,36
12,7	132				17,7	282			
12,8	174	0,47	0,752	1048,77	17,8	325	0,81	0,932	1070,22
12,9	216				17,9	369			
13,0	1,05259	65,52	8,759	1049,62	18,0	1,07413	66,87	8,939	1071,10
13,1	301				18,1	457			
13,2	343	0,57	0,766	1050,46	18,2	501	0,92	0,946	1071,98
13,3	386				18,3	545			
13,4	428	0,62	0,773	1051,31	18,4	589	0,97	0,953	1072,86
13,5	470				18,5	633			
13,6	513	0,67	0,781	1052,15	18,6	677	67,03	0,960	1073,73
13,7	556				18,7	721			
13,8	598	0,73	0,788	1053,00	18,8	765	0,08	0,967	1074,61
13,9	641				18,9	809			
14,0	1,05683	65,79	8,795	1053,85	19,0	1,07853	67,14	8,975	1075,49
14,1	726				19,1	898			
14,2	769	0,84	0,802	1054,71	19,2	942	0,19	0,982	1076,38
14,3	811				19,3	986			
14,4	854	0,89	0,809	1055,55	19,4	1,0803	0,25	0,989	1077,25
14,5	897				19,5	075			
14,6	940	0,94	0,816	1056,41	19,6	119	0,31	0,997	1078,14
14,7	982				19,7	164			

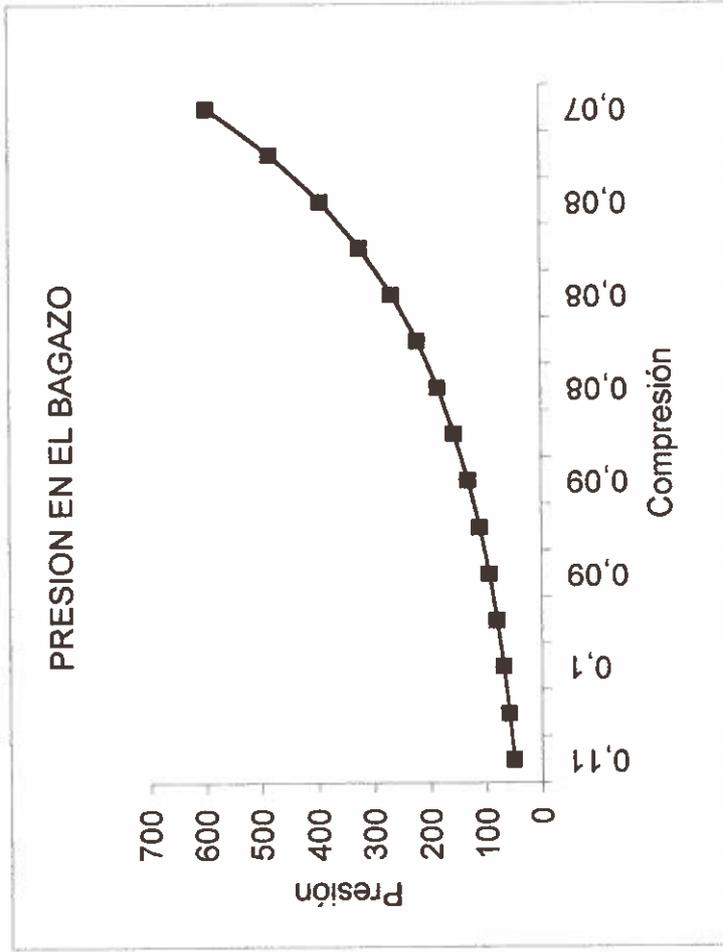
Sólidos Refractométricos	Gravedad Específica aparente	Peso			Sólidos Refractométricos	Gravedad específica aparente	Peso		
		lb/ft	(lb/gl)	(g/l)			lb/ft	(lb/gl)	(g/l)
14,8	1,06025	0,99	0,823	1057,26	19,8	208	0,36	9,004	1079,03
14,9	068				19,9	252			



## Apéndice D

Datos de la Prueba Experimental de Noel Deer

Compresión	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Presión (Psi)
0,105	52	743
0,103	60	859
0,100	70	996
0,097	81	1159
0,095	95	1354
0,092	112	1589
0,090	132	1873
0,087	156	2218
0,085	186	2640
0,082	222	3158
0,080	267	3798
0,078	323	4595
0,075	393	5594
0,073	482	6856
0,070	595	8463



## APENDICE E

Modelo de hojas para recoleccion de datos

TRAPICHE A						
MOLINO	VEL. COND.	VEL. MOL.	REL. DE VEL. COND./MOL.	ALTURA COLCHON	FLOTACION	PRESION
D						
1						
2						
3						
4						
5						
6						

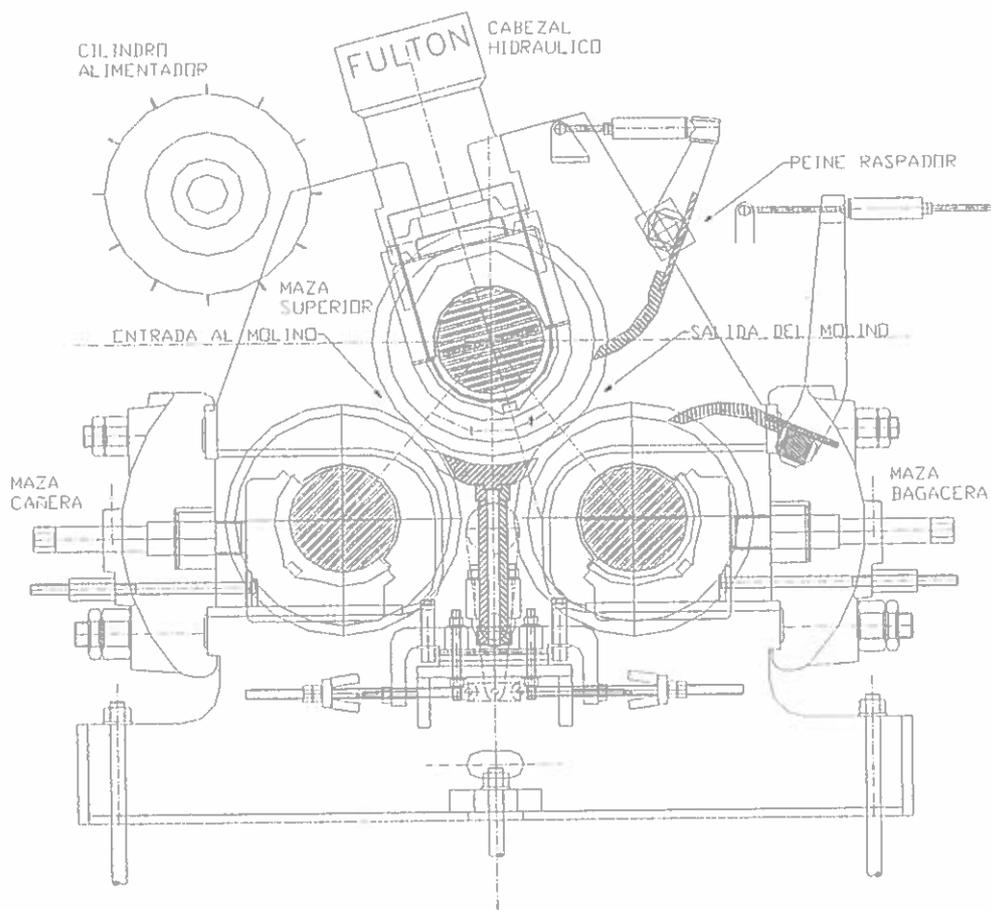
MOLINO	BRIX	POL	HUMEDAD		CUSH-CUSH 1	CUSH-CUSH 2
D				BRIX		
1				POL		
2				FACTOR		
3				HUMEDAD		
4						
5						
6						

TRAPICHE B						
MOLINO	VEL. COND.	VEL. MOL.	REL. DE VEL. COND./MOL.	ALTURA COLCHON	FLOTACION	PRESION
1						
2						
3						
4						

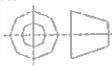
MOLINO	BRIX	POL	HUMEDAD		CUSH-CUSH 1	CUSH-CUSH 2
1				BRIX		
2				POL		
3				FACTOR		
4				HUMEDAD		

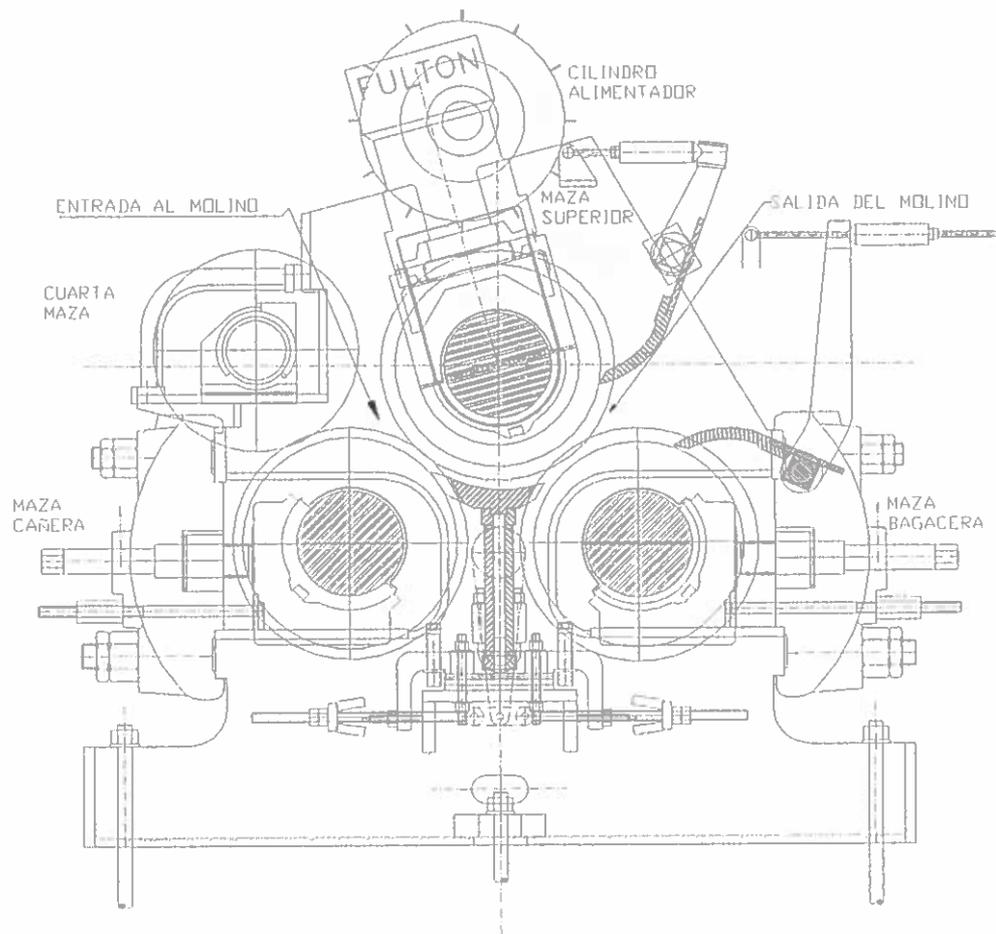
## **APENDICE F**

### **DIAGRAMAS USADOS EN LA ILUSTRACION DEL PROGRAMA**



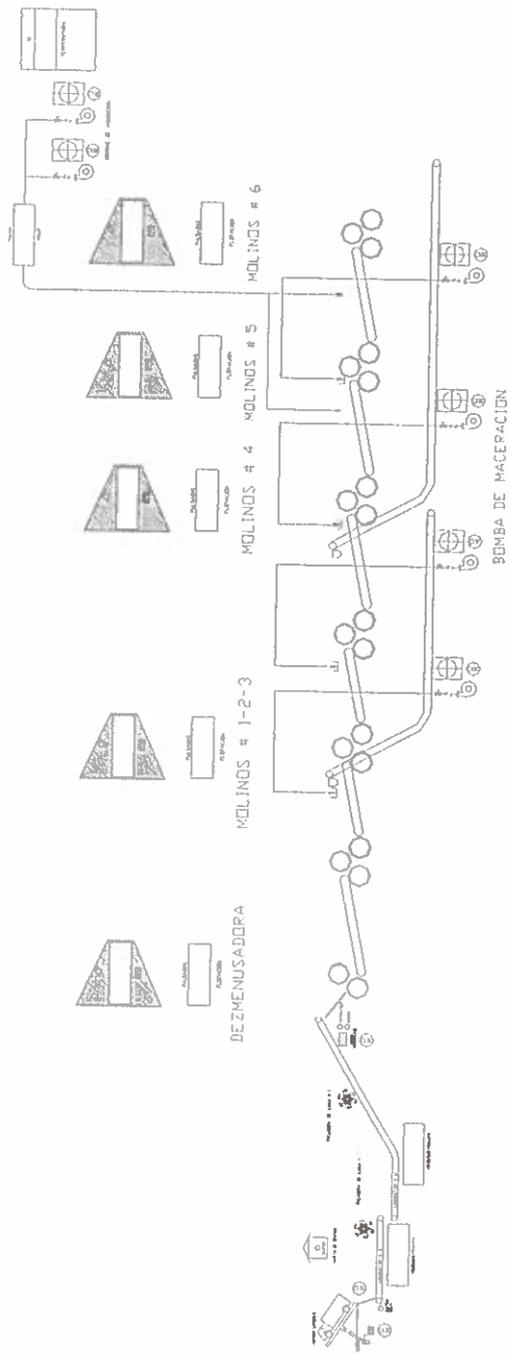
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Dib:	9/5/00	A.E.D.C.	UBICACION DE MAZAS	
Rev:				
Aprob:				
<b>ESPOL</b>			PLANO No: 001	



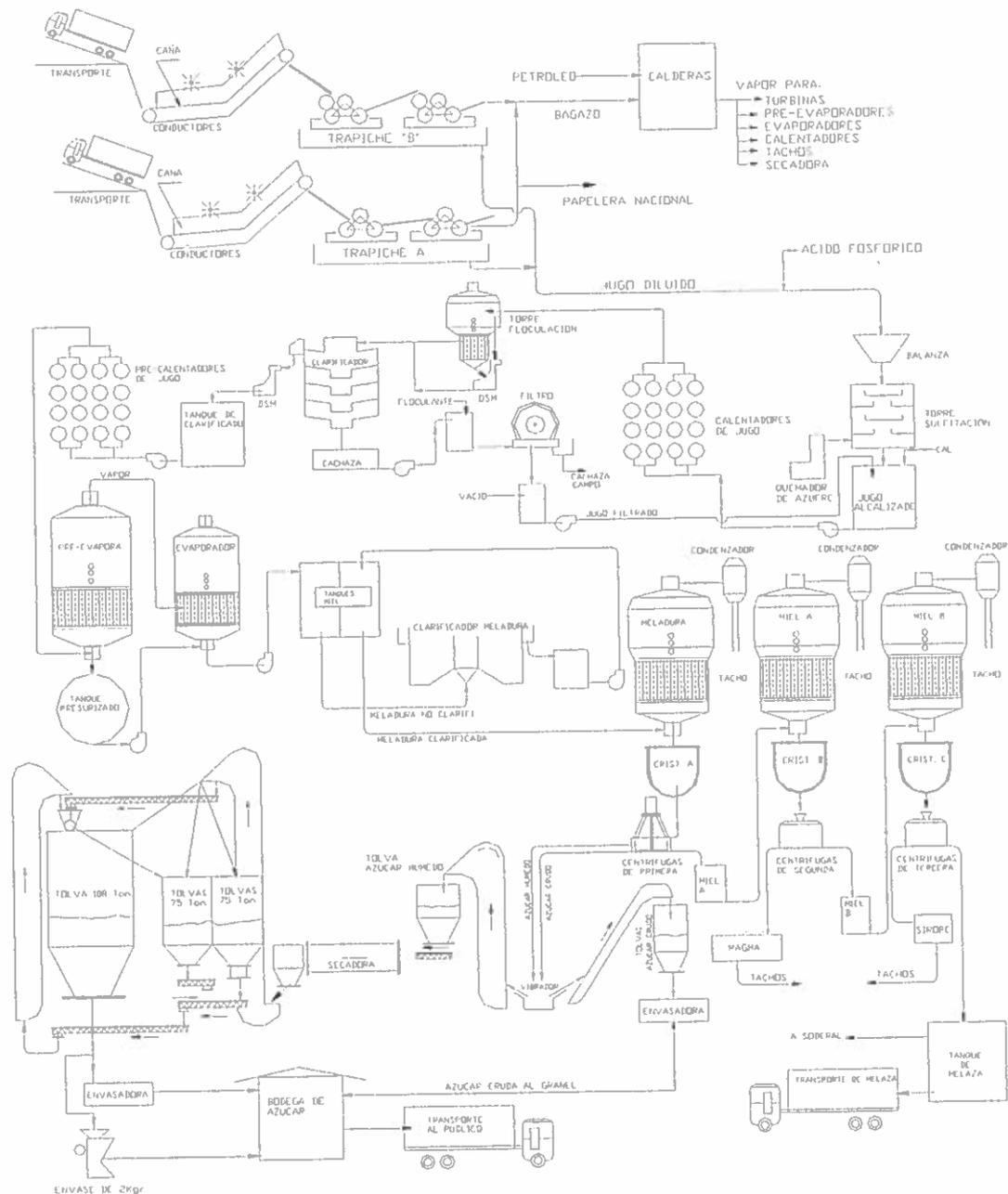
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y  
CIENCIAS DE LA PRODUCCION

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
Dib:	9/5/00	A.E.D.C.	UBICACION DE MAZAS TRAPICHE B	
Rev:				
Aprob:				
<b>ESPOL</b>			PLANO No 001-B	



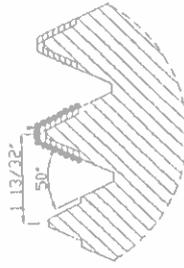
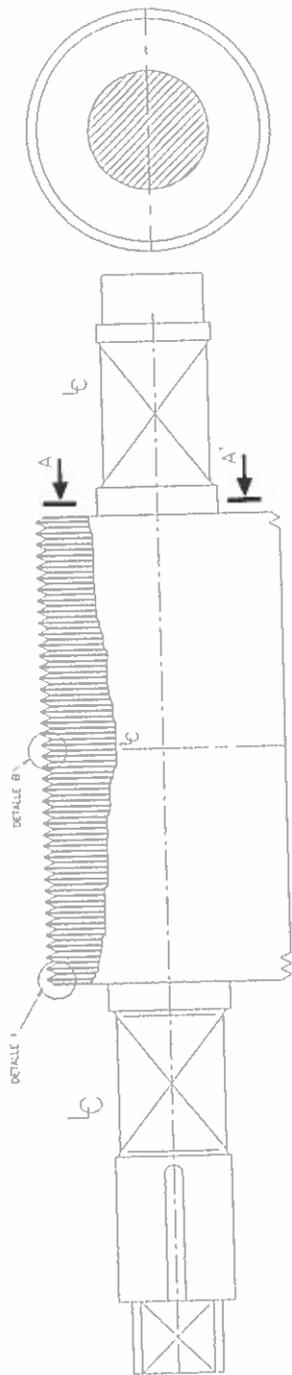
<b>FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION</b>				
	FECHA:	NOMBRE:	DENOMINACION:	ESCALA:
Dir:	9/5/00	A.E.D.C.	ESQUEMA DEL PROCESO DE MOLIENDA TRAPICHE A	
Rev:				
Aprob:				
<b>ESPOL</b>		PLANO N°:	002-B	

# PROCESO DE ELABORACION DE AZUCAR

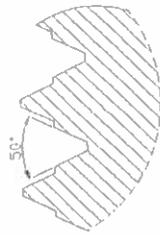


## FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
Dib:	9/5/00	AEDE	DIAGRAMA DE PROCESO	
Rev:				
Aprob:				
<b>ESPOL</b>			PLANO No. 003	



DETALLE DE UBICACION DE SOLD



DETALLE B



DETALLE 1 AMPLIADO

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION			ESCALA:
FECHA:	NOMBRE:	DENOMINACION:	
Dib: 9/5/00	AE D.C.	RAYADO DE MAZAS	
Rev:			
Aprob:			
<b>ESPOL</b>		PLANO No: 004	

APENDICE G



PARAMETROS DE LA PLANTA MOLIENDA		
DESCRIPCION	ISC	
	TA	TB
<b>PARAMETROS DE PROCESO</b>		
CONTROL SOBRE EL TRASH	NO	NO
INDICE DE PREPARACION DE LA CAÑA	NO	NO
TONELADAS MOLIDAS DIARIAS	3800	7000
CAÑA MOLIDA T/H	160,53	294,04
POTENCIA TOTAL PICADORAS DE CAÑA HP	1180	1800
PICADORAS/SWING BACK/DESFIBRADOR	2P	2P
VELOCIDAD DE PICADORAS/SWING BACK/DESFIBRADOR	350/500	600/600
CANTIDAD DE MACHETES/MARTILLOS	26/32	50/100
FRECUENCIA DE CAMBIOS TONELADAS MOLIDAS	NO	180 TCM
NIVELADORES DE CAÑA CANTIDAD	1	3
POTENCA TOTAL NIVELADORES HP	75	125/50/30
VELOCIDAD (R.P.M.)	100	100/100
LAVADO DE CAÑA: GRAVITACIONAL/PRESION	G	G
COND. BANDA (GRADOS DE INCLINACION RODILLOS)	NO	20
DIMENSIONES (ANCHO, ESPESOR)	NO	84" X 1/2"
MOLINOS CANTIDAD	6	4
CANTIDAD DE MAZAS EN MOLINOS	3	4
POTENCIA TOTAL MOLINOS HP	3900	3600
VELOCIDAD MAX. TURBINAS	3600	3500
MASAS (DIAMETRO/LONGITUD/PROMEDIO)	35" X 66"	44" X 84
MASAS PASOS	2.1/2"	2"
INSPECCION DE RUGOSIDAD DE MAZAS	VISUAL	VISUAL
FLOTACION MOLINOS PROMEDIO	0	1/4" - 3/8"
PUNTOS DE APLICACIÓN MACERACION	1-5 M	2-3 M
PUNTOS DE APLICACIÓN IMBIBICION	5-6 M	3-4 M
MUESTREO JUGO/BAGAZO/TIEMPO	C/ 2H	C/ 2H
SISTEMA DE LUBRICACION MOLINOS	BAND.	BAND.
TEMPERATURA DEL AGUA DE IMBIBICION	85	70
NUMERO DE CUSH-CUSH	2	2
CONDUCTORES INTERMEDIOS (TIPO TRANSMISION)	DEPEND.	INDEPEND.
TIEMPO DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO	NO	NO
HORAS MOLIDAS	2741	3600
TIEMPO PERDIDO % OPERACIÓN DE FABRICA	19,73%	21,37%
<b>PARAMETROS DE CONTROL DE LA PLANTA</b>		
BRIX DE JUGO DILUIDO	13,40%	13,80%
POL JUGO RESIDUAL	4,50%	4,88%
EXTRACCION REDUCIDA	93,20%	92,19%
POL % CAÑA	10,77%	10,79%
BAGAZO % CAÑA	32,41%	31,75%
FIBRA % CAÑA	14,57%	14,59%
IMBIBICION % CAÑA	25,00%	23,90%
POL % BAGAZO	2,69%	3,17%
HUMEDAD % BAGAZO	51,51%	49,72%

## BIBLIOGRAFIA

1. INSTITUTO CUBANO DEL LIBRO, Capacidad para Ingenios de Crudo de Cuba, Ciencia y Técnica, la Habana 1971.
2. E. HUGOT, Manual para ingenieros Azucareros, Segunda edición en Español 1984, Compañía Editorial continental S.A.
3. MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, Segunda edición en español, 1982, Volumen I, Editorial McGraw-Hill.
4. FULTON IRON WORKS, Technical Aspects of Theoretical Mill Settings, Boletín.
5. THE SUGAR JOURNAL, Technical Aspects of Theoretical Mill Settings, A. B. Chirgwin, Manager of sugar Machinery Engineering Farrel-Birmingham Co., Boletín 1960.
6. RICHARD W. GREENE, Flujo de Fluidos Crane, McGraw-Hill, 1992

7. JOSEPH EDUWARD SHIGLEY, Diseño en Ingeniería Mecánica, Tercera Edición, 1983, Editorial McGraw-Hill.
8. JULIO C. DIAZ, Aplicaciones Industriales de Soldadura, Boletín 1989.
9. M. Dedini S.A., Ajustes dos Rolos e Cálculos das Aberturas, Boletín.