

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CONDICIONES Y OPERACIÓN EN MOLINOS DE  
INGENIOS AZUCAREROS**

**T E S I S**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

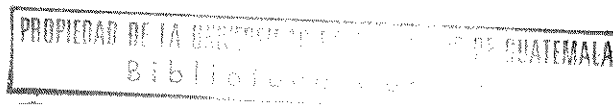
**P O R**

**JUAN CARLOS CORCUERA RODRÍGUEZ**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Guatemala, noviembre 1997.**



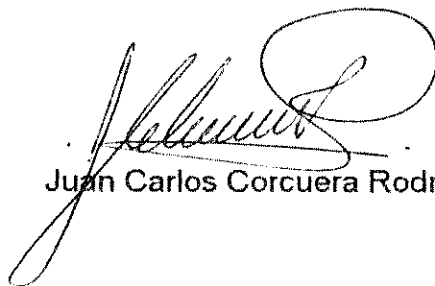
UO  
T(4164)  
c. 4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

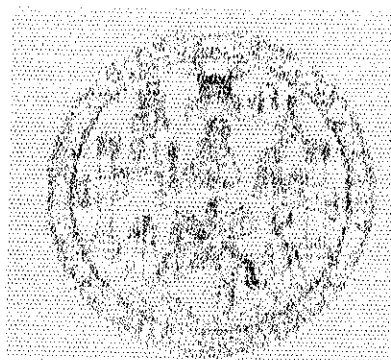
CONDICIONES Y OPERACIÓN EN MOLINOS DE  
INGENIOS AZUCAREROS

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Con fecha octubre 1, 1994.



Juan Carlos Corcuera Rodríguez

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO:</b>	Ing. Herbert René Miranda Barrios
<b>VOCAL 1º</b>	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
<b>VOCAL 2º</b>	Ing. Jack Douglas Ibarra Solorzano
<b>VOCAL 3º</b>	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
<b>VOCAL 4º</b>	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
<b>VOCAL 5º</b>	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO:</b>	Ing. Jorge Mario Morales
<b>EXAMINADOR:</b>	Ing. Pedro Enrique Kubes
<b>EXAMINADOR:</b>	Ing. José Rolando Villar Choy
<b>EXAMINADOR:</b>	Ing. Juan Emilio Castañón Fuentes
<b>SECRETARIO:</b>	Ing. Edgar Jose Bravatti Castro

Guatemala, 27 de Octubre de 1,997.

INGENIERO  
Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director Escuela Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería.  
USAC.

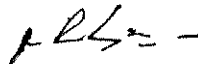
Señor Director:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de tesis titulado "CONDICIONES Y OPERACIÓN EN MOLINOS DE INGENIOS AZUCAREROS", desarrollado por el estudiante universitario JUAN CARLOS CORCUERA RODRÍGUEZ, previó a optar por el título de Ingeniero Mecánico.

El trabajo presentado por el estudiante Corcuera ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos reglamentarios, consultando la bibliografía adecuada y siguiendo las recomendaciones de la asesoría.

Por todo lo anterior, tanto el autor como la asesoría, somos responsables del contenido y conclusiones del presente trabajo de tesis y en consecuencia, por medio de la presente me permito APROBARLO para los efectos de graduación del autor.

Atentamente.

  
JOSÉ ROLANDO VILLAR CHOY  
Ingeniero Mecánico  
Colegiado 2319



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del Area Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer la aprobación del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Condiciones y Operación en Molinos de Ingenios Azucareros del estudiante Juan Carlos Corcuera Rodríguez, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Arturo Estrada Martínez  
Coordinador de Area

Guatemala, noviembre de 1,997

/behdei.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala

Ciudad Universitaria, Zona 12

Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Complementaria, al trabajo de tesis titulado **CONDICIONES Y OPERACIÓN EN MOLINOS DE INGENIOS AZUCAREROS**, del estudiante Juan Carlos Corcuera Rodríguez, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ  
DIRECTOR



Guatemala, Noviembre de 1,997.



FACULTAD DE INGENIERIA

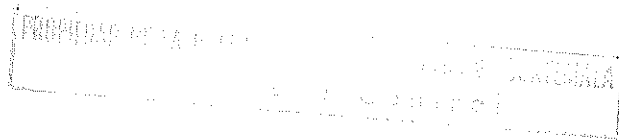
El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de tesis titulado **CONDICIONES Y OPERACION EN MOLINOS DE INGENIOS AZUCAREROS**, del estudiante **Juan Carlos Corcuera Rodríguez**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS  
DECANO



Guatemala, Noviembre de 1,997.



## ACTO QUE DEDICO A:

**Dios:** Por darme la sabiduría y guiarme para poder culminar este anhelo.

**Mis padres:** Adolfo Corcuera Pinto  
Virginia Rodríguez de Corcuera  
Por su amor y múltiples sacrificios.

**Mi esposa:** Magda Algedy Cruz de Corcuera  
Por su amor, comprensión y apoyo.

**Mis hijos:** Algedy y Carlitos Corcuera Cruz  
Que este logro alcanzado sirva como ejemplo y de incentivo en sus vidas.

**Mis hermanos:** Virginia, Byron y Otto Corcuera Rodriguez  
Con amor fraternal.

**Mis suegros:** Jorge Cruz Espinoza y Magdalena Galindo de Cruz.

**Mi Patria:** Guatemala

La Facultad de Ingeniería

La Universidad de San Carlos de Guatemala.



## **AGRADECIMIENTO:**

Al Ingeniero José Rolando Villar Choy, por el asesoramiento y colaboración prestada al presente trabajo de tesis.

Al Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez por el apoyo brindado a esta tesis.

A mis compañeros y amigos de trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

	Página No.
INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE TABLAS	ii
LISTA DE SÍMBOLOS	iii
GLOSARIO	iv
INTRODUCCIÓN	xii

### 1. DESCRIPCIÓN DE PARTES Y EQUIPOS DE UN MOLINO

1.1	Virgenes	1
1.1.1	Tipos de virgenes comunes.	2
1.1.2	Diferencias por su diseño.	2
1.1.3	Bisagras	8
1.1.4	Cuchillas raspadoras	8
1.1.5	Chumaceras	9
1.1.6	Cabezotes hidráulicos	12
1.1.6.1	Presión hidráulica	13
1.1.6.2	Flotación en cilindros superiores.	13
1.1.6.3	Valores de presión hidráulica	14
1.1.6.4	Factores que influyen en la flotación	15
1.1.6.5	Presión sobre el bagazo	15
1.1.7	Acumuladores oleo-neumáticos	16
1.2	Mazas	17
1.2.1	Tipos de rayados	17
1.2.2	Rayado inferior/superior	21
1.2.3	Messchaerts	22
1.2.4	Tipos de messchaerts	24
1.2.5	Raspadores messchaerts	25
1.2.6	Chevrones	26
1.2.7	Desgaste de las mazas	27
1.2.8	Reparación de mazas	28
1.3	Sistema de lubricación	30
1.3.1	Finalidad de la lubricación.	30
1.3.2	Tipos de lubricación	31
1.3.2.1	Sistema lincoln	32
1.3.2.2	Sistema farval	33

<b>1.4</b>	<b>Cuchillas raspadoras</b>	<b>33</b>
1.4.1	Características del material	34
1.4.2	Ajuste de cuchillas	34
1.4.3	Ubicación de las cuchillas	35
1.4.3.1	Raspadora maza superior	35
1.4.3.2	Raspadora maza bagacera	36
<b>2.</b>	<b>CAPACIDAD EN MOLINOS</b>	<b>37</b>
<b>2.1</b>	<b>Factores determinantes</b>	<b>37</b>
<b>2.2</b>	<b>Fórmulas de capacidad</b>	<b>39</b>
2.2.1	Ejemplo	41
2.2.2	Capacidad	42
2.2.3	Preparación de la caña	43
2.2.4	Largo del tandem	44
<b>2.3</b>	<b>Carga fibrosa</b>	<b>45</b>
2.3.1	Carga específica	46
2.3.2	Valores normales de carga	46
2.3.3	Relación de trabajo	48
<b>3.</b>	<b>AJUSTES DE LOS MOLINOS</b>	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>Definición</b>	<b>50</b>
3.1.1	Medidas de las aberturas	51
3.1.2	Método de java	52
<b>3.2</b>	<b>Ajuste entrada y salida</b>	<b>52</b>
3.2.1	Ajuste de salida	54
3.2.2	Ajuste de entrada	56
3.2.3	Capacidad del tandem, ajustes y presiones en los molinos	58
3.2.4	Triangulación virgenes verticales	58
3.2.5	Triangulación virgenes inclinadas	59
3.2.6	Hoja de ajustes de molinos zafra 96/97	59

3.3	<b>Ajuste cuchilla central</b>	60
3.3.1	Método U villar	61
3.3.2	Trazado de la cuchilla central	62
3.3.3	Ajustes	62
3.3.4	Consideraciones importantes	63
3.3.5	Ruidos anormales	64
3.3.6	Salpicaduras	65
3.3.7	Atascamiento	65
3.3.8	Desprendimiento de guarda jugos	66
3.3.9	Desgaste y acanaladuras en la cuchilla	66
3.3.10	Cuchillas de acero inoxidable	67
4.	<b>ANALISIS DE LABORATORIO DE CAÑA</b>	68
4.1	<b>Alimentación de caña</b>	71
4.1.1	Preparación de la caña	74
4.1.1.1	Cuchillas giratorias	74
4.1.1.2	Desmenuzadoras	75
4.1.1.3	Desfibradoras	77
4.1.1.4	Combinación de equipos	78
4.2	<b>Corrida de molinos</b>	78
4.2.1	Corrida No.1	79
4.2.2	Corrida No.2	82
4.2.3	Corrida No.3	85
4.2.4	Corrida No.4	88
4.3	<b>Interpretación de resultados</b>	91
4.3.1	Brix bagacera	91
4.3.2	Humedad bagacera	92
4.3.3	Pol bagazo	93
4.3.4	Pol bagacera	93
4.3.5	Pureza bagacera	94
4.3.6	Brix bagazo	94
4.3.7	Fibra bagazo y bagazo caña	94
4.3.8	Pol extraído , saliendo y extraído	94
4.3.9	Porcentaje de extracción	95

<b>5.</b>	<b>PARAMETROS DE MEDICION Y COMPARACION</b>	<b>96</b>
5.1	Tiempo perdido	96
5.2	Caña molida	97
5.3	Caña % pol	98
5.4	Extracción % pol	99
5.5	Bagazo % pol	100
5.6	Bagazo % humedad	101
5.7	Imbibición % caña	102
5.8	Extracción normal	103
5.9	Pol cachaza	104
5.10	Miel final	105
5.11	Pureza miel final	106
5.12	Rendimiento QQ/Tons.	107
5.13	Quintales de producción	108
5.14	Análisis de tiempo perdido	109
5.14.1	Análisis tiempo perdido Patio de Caña	109
5.14.2	Análisis tiempo perdido Molinos	110
5.14.3	Análisis tiempo perdido Calderas	111
5.14.4	Análisis tiempo perdido Eléctrico	112
	CONCLUSIONES	xiv
	RECOMENDACIONES	xv
	REFERENCIAS	xvii
	BIBLIOGRAFIA	xviii

## INDICE DE FIGURAS

	Página No.
Fig. 1 Partes de un molino	1
2 Molino isométrico	3
3 Virgen Cail	4
4 Virgen Squier	5
5 Virgen pernos peales	6
6 Virgen con cuarta maza	7
7 Bisagra	8
8 Peine raspador	9
9 Chumacera	11
10 Rayado de mazas	22
11 Messchaerts	23
12 Ubicación de mazas	23
13 Eje de Messchaerts	26
14 Maquina para pulir soldadura de mazas	29
15 Diagrama de un sistema de lubricación farval	33
16 Peine de hierro fundido	34
17 Ubicación peine superior	35
18 Ubicación peine bagacero	36
19 Bateria de molinos	49
20 Triangulación virgenes verticales	58
21 Triangulación virgenes inclinadas	59
22 Trazo cuchilla central	62
23 Ubicación cuchilla	64
24 Cuchillas giratorias	75
25 Desmenuzadora	76
26 Desfibradora	77
27 Tiempo perdido	96
28 Caña molida	97
29 Caña % pol	98
30 Extracción % pol	99
31 Bagazo % pol	100
32 Bagazo % humedad	101
33 Imbibición % caña	102
34 Extracción normal	103
35 Pol cachaza	104
36 Miel final	105
37 Pureza miel final	106
38 Rendimiento	107

39	Quintales producción	108
40	Tiempo perdido patio de caña	109
41	Tiempo perdido molinos	110
42	Tiempo perdido calderas	111
43	Tiempo perdido eléctrico	112

## INDICE DE TABLAS

	Página No.	
1	Rayado de mazas	20
2	Densidad de la caña	53
3	Relación de abertura	56
4	Capacidad del tandem	58
5	Ajuste de molinos	59
6	Composición de la caña	69

## LISTADO DE SÍMBOLOS

SIMBOLO	DEFINICION	DIMENSIONAL
PSIA	Presión Absoluta	Lbs/plg <sup>2</sup>
PSIG	Presión manométrica	Lbs/plg <sup>2</sup>
T	Temperatura	°C, K
t	Temperatura	°F, °C
HP	Potencia	Horse Power
Lbs	Libras-masa	
R.P.M.	Revoluciones por minuto	
Min.	Minutos	
Plg.	Pulgadas	
% pol	Porcentaje de polarización del jugo de caña	
% humedad	Porcentaje de humedad del bagazo	
gls/ton.	Galones por tonelada	
kW	Potencia	Kilo-Watts
kWh	Energía Producida	Kilo-Watts/Hora
TCD	Toneladas de caña por día	



## GLOSARIO

**Acero fundido:** nombre comercial que se le da al hierro de baja ductibilidad que se obtiene quemando parte del carbono del hierro colado.

**Acidez:** medida de la concentración de ácidos en el jugo efectuada para disponer de un índice de descomposición y del consumo de cal para neutralizar (es un mejor indicador que el de pH del jugo dado que muchos de los ácidos presentes forman de hecho un buffer)

**Acumulador de presión :** recipiente hidráulico que por medio de una vejiga de hule con hidrógeno a 2,000 PSIA mantiene la presión casi constante a cierto desplazamiento del pistón o aumento de volumen.

**Agua de imbibición:** es la cantidad de agua que se le agrega a la caña molida para poder extraer más azúcar. Usualmente se mide únicamente el agua que se agrega en los molinos y no se toma en cuenta el agua que la caña fija o absorbe durante el proceso de lavado de caña.

**Asentar:** colocar alguna pieza que permanezca firme.

**Azúcar producido:** se obtienen de los datos de producción de cada turno, tomando en cuenta los diferentes tipos de azúcar producido y cuantificado.

**Azúcar 96° pol:** para poder calcular este dato, se deben utilizar los datos de Pol de los distintos tipos de azúcar. Se obtienen una Pol ponderada del azúcar producida en el período. El azúcar 96 ° Pol se obtienen de multiplicar el azúcar producida  $8 \times 96 / \text{Pol del azúcar producida}$ .

**Azúcar 96° en proceso del período:** dato que se obtienen de restar la medición de azúcar 96 ° del proceso al final del período menos la medición de azúcar 96 ° al inicio del período. Las mediciones de los procesos de los períodos pueden ser positivos, negativos o ser iguales a cero.

**Bagazo:** es el producto sólido resultado de la extracción de por lo menos una parte del jugo de la caña original.

**Bagazo % caña:** es el cociente de dividir la medición de bagazo por la medición de caña molida y el resultado multiplicarlo por 100.

**Bagazo % fibra:**  $100 - \text{bagazo \% humedad} - (\text{bagazo \% pol} \times 100 / \text{pureza residual})$ .

**Bagazo % humedad:** dato que se obtiene del análisis de laboratorio. El contenido de humedad en el bagazo oscila alrededor del 50 %.

**Bagazo % pol:** dato que se obtiene de análisis del laboratorio. Expresa la cantidad porcentual de sólidos polarimétricos que arrastra el bagazo. Se asume que el total de sólidos polarimétricos es sacarosa.

**Bancazo:** estructura de metal, diseñada para mantener a la maquinaria en su posición de operación.

**Basura:** desechos que vienen en la caña que no se extrae ningún beneficio de ello.

**Bisagra:** pieza grande de metal articulado que facilita desmontar la maza.

**Brix:** porcentaje en peso de sólidos solubles disueltos presentes en una solución. Es estrictamente válido y exacto para el caso de que sea una solución acuosa de sacarosa pura.

**Cabezote hidráulico:** sistema hidráulico, encargado de mantener una conexión entre el acumulador de presión y la chumacera de la maza.

**Caja:** soporte de lámina de hierro, que ensamblan las tejas de bronce.

**Camisa de hierro:** es un cilindro hueco fundido que se coloca sobre el eje de la maza.

**Caña de azúcar:** planta gramínea, originaria de la India, con el tallo leñoso, de unos dos metros de altura, hojas largas, lampiñas y flores porpúreas en panoja piramidal; el tallo está lleno de un tejido esponjoso y dulce del que se extrae azúcar.

**Caña recibida:** dato que se obtiene de las básculas, que corresponde a la materia prima de un ingenio azucarero.

**Caña molida:** dato estimado que se obtiene de la suma de la caña en existencia del periodo, menos la caña en existencia al final del periodo.

**Caña en existencia:** dato que se obtiene de la observación directa del patio de caña, camiones ya pesados en cola, caña en los conductores y estibas.

**Caña % pol:** (Pol en caña) es el cociente de dividir la medición de pol en caña entre la medición de caña molida y luego multiplicar por 100.

**Caña quemada:** dato que se obtiene de las básculas y se refiere a una forma de corte de la caña. El quemar la caña, baja el rendimiento de azúcar.

**Catarina:** engranaje de grandes dimensiones, hecho para reducir la velocidad y aumentar el torque.

**Chevrón:** desbastado en "V" sobre el rayado de una maza, a todo lo largo de la misma.

**Chorrear:** es depositar, soldadura esparcida no homogénea, en el rayado de la maza.

**Conductor de bagacillo:** sistema anexo de filtrado de los jugos intermedios, destinado a separar el bagazo presente en el jugo y evitar su paso a las bombas de maceración.

**Corona:** engranajes de acero fundido, encargados de transmitir el movimiento, de una maza a otra.

**Coupling:** elemento mecánico, utilizado para transmitir el torque de un eje a otro.

**Cuarta cuchilla:** unidad de hierro fundido, encargada de limpiar el rayado de la cuarta maza.

**Cuchilla central:** unidad de hierro fundido, que sirve de soporte al paso de la caña y extrae la caña que queda alojada en el rayado de las mazas cañera y bagacera.

**Desfibradora:** mecanismo destinado a separar y romper las fibras de la caña para mejorar la extracción, pero en general no extrae jugo.

**Difusor de caña:** equipo que sustituye a los molinos mediante la aplicación de agua caliente y jugos intermedios para la extracción de jugo de caña.

**Dilución % caña:** es la diferencia del % Jugo diluido extraído y el % extracción normal.

**Drenaje:** facilidad del jugo para ser evacuado de las zonas de compresión de un molino.

**Eficiencia:** utilización racional de la energía que entra y la energía que sale; expresado en porcentaje.

**Extracción:** es la separación del jugo de caña de la fibra.

**Extracción normal:** es la razón entre la multiplicación del porcentaje de jugo diluido por (brix del jugo diluido / brix del jugo normal).

**Extracción 12.5 % fibra:** se calcula refiriendo la extracción diluida al valor de fibra/caña de 12.50. El algoritmo de cálculo es:

Ext. 12.5 % Fibra =  $100 - ((100 - \text{extracción sacarosa}) \times ((100 - \text{Fibra}) / \text{fibra}) / 7)$

**Factor de seguridad:** relaciona la humedad del azúcar y la composición de no pol en el azúcar. Factor de Seguridad =  $\text{Humedad azúcar} / (100 - \text{Pol azúcar})$   
El factor de seguridad debe estar por debajo de 0.25.

**Fibra:** material sólido que queda después de extraer el jugo de caña.

**Flotar:** es el movimiento que tiene la maza superior sobre la caña.

**Holgura:** espacio existente entre dos superficies.

**Horas de molienda:** es el tiempo total del período menos el tiempo perdido o tiempo parado.

**Horas de parada:** dato que se obtiene del total de tiempo que no se molió caña. En el reporte se explican los motivos, horas y tiempos parciales de parada.

**Ingenio azucarero:** industria dedicada al proceso de la caña de azúcar, para su transformación en azúcar, clasificada como agroindustria.

**Imbibición:** alimentación de agua caliente al último o dos últimos molinos para mejorar la extracción de sacarosa por medio de mecanismos de intercambio y ósmosis.

**Imbibición % caña:** es la razón de dividir la medición del agua de imbibición entre la medición de caña molida y el resultado multiplicado por 100. La Imbibición debe ser mayor que la dilución.

**Java ratio:**  $(\text{pol caña} / \text{pol del jugo primario}) \times 100$

**Jugo:** es la mezcla en una sola fase de agua, sólidos solubles disueltos y sólidos en suspensión.

**Jugo absoluto:** se define como todo lo que no es Fibra / Caña.  $\text{Jugo absoluto} = 100 - \text{Fibra} / \text{Caña}$ .

**Jugo diluido:** el jugo diluido es la combinación de jugos que se obtienen de los diferentes molinos del tandem. Constituido por el jugo primario, jugo de primer molino y jugo residual o Jugo del último molino.

**Jugo diluido extraído:** es la razón entre la medición del jugo diluido entre la medición de la caña molida y el resultado multiplicado por 100.

**Jugo normal:** brix de jugo normal = brix de jugo primario multiplicado por 0.97  
pureza de jugo normal = pureza de jugo diluido  
pol de jugo normal = brix de jugo normal multiplicado por pureza de Jugo normal dividido entre 100.

**Jugo mezclado:** es la mezcla de agua, sólidos solubles disueltos y algunos sólidos en suspensión que se extrae de la caña y va al proceso.

**Lado colero:** es el extremo opuesto al lado motriz.

**Lado motriz:** es el extremo del eje, donde se va a ejercer la torsión de la maza.

**Los datos de molienda:** son datos que dan información acerca de la relación de la molienda de la caña.

**Maceración:** agrega jugo de menor pureza al molino anterior.

**Mantenimiento:** serie de trabajos ejecutados a algún equipo, con el fin de conservarlo.

**Maza:** rodillo de hierro fundido, utilizado para comprimir la caña de azúcar entre las mismas y extraer el jugo de sus fibras.

**Maza lotus:** es una maza que tiene una serie de drenajes para desalojar con rapidez el jugo de caña.

**Miel final en existencia del período:** dato que se obtiene de la diferencial entre la cantidad de miel al final del período menos la cantidad de miel al inicio del período. La existencia de miel en el período, puede ser positiva, negativa o cero. La miel se expresa usualmente en galones 85 Brix.

**Miel final galones existencia en tanques de almacenamiento:** dato que se obtiene calculando la capacidad del tanque de miel. Se estima en base a la altura de la miel en el tanque o por medición de la masa de la miel en el tanque.

**Miel final galones despachados:** dato que se obtiene del pesaje de los vehículos que transportan la miel y su corrección respectiva de masa y volumen por medio de la densidad de la miel en función del Brix hidrométrico.

**Miel final galones hechos:** cantidad de miel que se obtiene de la suma de Miel final galones despachados y la Miel final en existencia del período.

**Molino:** rodos de hierro que comprimen la caña para extraer jugo.

**Molienda:** proceso por el cual la caña, es comprimida para extraer el jugo.

**Muñón:** parte del eje que tiene contacto con las chumaceras de bronce.

**Número de días de Zafra:** se toma como día de Zafra, un total de 24 horas, regularmente el día de zafra empieza a las 6:00 Hrs. Es factible tener días con fracciones de tiempo.

**Operación del tandem:** es un proceso continuo en el que se alimenta caña picada y es sometida a una serie de expresiones utilizando molinos de rodillos o mazas.

**Parada:** dejar la máquina fuera de operación por un corto periodo de tiempo.

**Peine:** unidad de hierro fundido utilizado para limpiar el rayado de una maza.

**Pérdida de molienda:** (Pol Bagazo / Fibra Bagazo) por 100

**Pernos de anclaje:** espárragos utilizados para sujetar la maquinaria al cimiento.

**Picadora:** máquina que pica caña al golpearla y cortarla con machetes colados en sus brazos.

**Porcentaje par:** (rendimiento base 96 en lbs/TCM / Rendimiento fórmula) X 100. Rendimiento fórmula = Pol del jugo primario - Brix Jugo Primario X 0.3 X 20.

**Porcentaje recuperación normal :**

es el dato que se obtiene de dividir el (Rendimiento entre pol normal X 20) X 100.

**Pol:** porcentaje en peso de sacarosa disuelta medida por medio de la actividad óptica de la solución. Solo es cierto cuando la solución está formada de agua y sacarosa pura.

**Pol en caña:** es la sumatoria de las mediciones de (jugo diluido x la pol del jugo diluido) + la medición de bagazo X pol del bagazo.

**Pol extraído % pol caña:** es el resultado de dividir (pol del jugo diluido entre la pol en caña) por 100.

**Puente:** pieza de hierro que soporta la cuchilla central.

**Raspador:** dispositivo de limpieza para las ranuras Messchaert.

**Ratio:** es la relación existente entre el giro del eje de entrada respecto al eje de salida de una serie de engranajes acoplados.

**Rayado:** es el ranurado de una maza fabricado con el fin de aumentar el área de compresión de la misma.

**Razón de molida:** dato que se obtiene de multiplicar las toneladas de caña / hora por el tiempo total de un día. (24 horas).

**Reabsorción:** resbalamiento hacia adelante que fomenta una menor extracción dando una ruta más fácil para que el jugo vuelva a incorporarse al bagazo.

**Rendimiento físico:** dividir la medición del (Azúcar física producida + la medición de azúcar en proceso) / (la medición de caña molida) x 100.

**Rendimiento:** ((quintales de azúcar hechos + quintales azúcar estimados en fábrica) / toneladas de caña molida) X 100.

**Rendimiento 96 ° pol:** dato que se obtiene de (Suma de las producción de azúcar base 96 más la medición de azúcar en proceso 96 / caña molida) X 100.

**Resbalamiento:** defecto de la alimentación de un molino en el que la velocidad de avance del colchón de bagazo se hace menor que la velocidad tangencial de las mazas.

**Sacarosa:** glúcido del grupo de los ósidos que, por hidrólisis, se desdoble en glucosa y en fructuosa, y constituye el azúcar de caña y el de remolacha.

**Setting:** espacio existente entre las mazas para permitir el paso de la caña y la compresión de la misma.

**TCD:** abreviatura usada en Toneladas de Caña por Día. En Guatemala se emplean toneladas españolas cortas (2000 Lb. de 459.99 g cada una)

**Teja:** parte de bronce o de polietileno de alta densidad sobre la que se apoyan los ejes de las mazas al girar.

**Tiempo perdido % total:** dato que se obtiene de dividir las horas de parada entre las horas totales del período por 100.

**Tonelada de caña por hora:** dato que se obtiene al dividir las toneladas de caña molida por las horas de molida.

**Virgen:** estructura robusta, de acero fundido, que aloja a las piezas del molino.

**Winter y Carp:** en ciertas condiciones de trabajo por cada 100 partes de azúcar se obtienen 40 partes de miel, de donde se estima el valor de:

$$1.40 = (100 + 40)/100$$

$$\text{Winter y Carp} = (1.40 - (40/\text{pureza jugo})) \text{ por } 100.$$

**Zafra:** tiempo en que se cosecha la caña de azúcar y se procesa en un ingenio azucarero.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas se ven obligadas a competir con empresas similares de mayor calidad y menor precio en los productos finales, dicha competencia tecnológica, económica y humana, se han visto en la necesidad de aumentar a diario su régimen de eficiencia total.

Existen constantes modificaciones y proyectos diversos de grandes inversiones, los cuales son argumentos suficientes para justificar manuales como instrumento que identifique condiciones y operaciones en una área tan importante, como lo es Molinos de un Ingenio Azucarero, en donde se centralizan las mayores pérdidas del proceso.

De acuerdo a lo anterior expuesto, el presente estudio nos servirá para verificar la hipótesis si "la eficiencia de un molino cañero depende de la cantidad de caña que se muele ó de la cantidad de fibra que posee dicha caña.

Los objetivos que motivan este estudio son: Crear un instrumentos de aplicaciones prácticas para Profesionales y estudiantes que inicien su Carrera en Empresas Azucareras.

Aumentar la extracción y así la eficiencia de equipos específicos en Molinos Cañeros, la cual es fundamental para el éxito de este tipo de empresas.

Hacer comprender los cálculos básicos que deben realizarse en las Mazas, Cuchillas, Picadoras en Ingenios Azucareros, determinar de acuerdo a su capacidad de trabajo, los distintos tipos de molinos que existen en las Empresas Azucareras.

Establecer criterios para conocer las características mas importantes de Molinos Cañeros.

La limitación mas grande se encuentra en que únicamente se pueden hacer mediciones de campo en época de Zafra.

## 1. DESCRIPCION DE PARTES Y EQUIPOS DE UN MOLINO

Para comprender mejor la identificación de cada una de las partes de un molino, lo identificaré de la siguiente forma de la cual explicaré, el funcionamiento de cada una de sus partes. Se identifican y definen por separado, como a continuación aparecen.

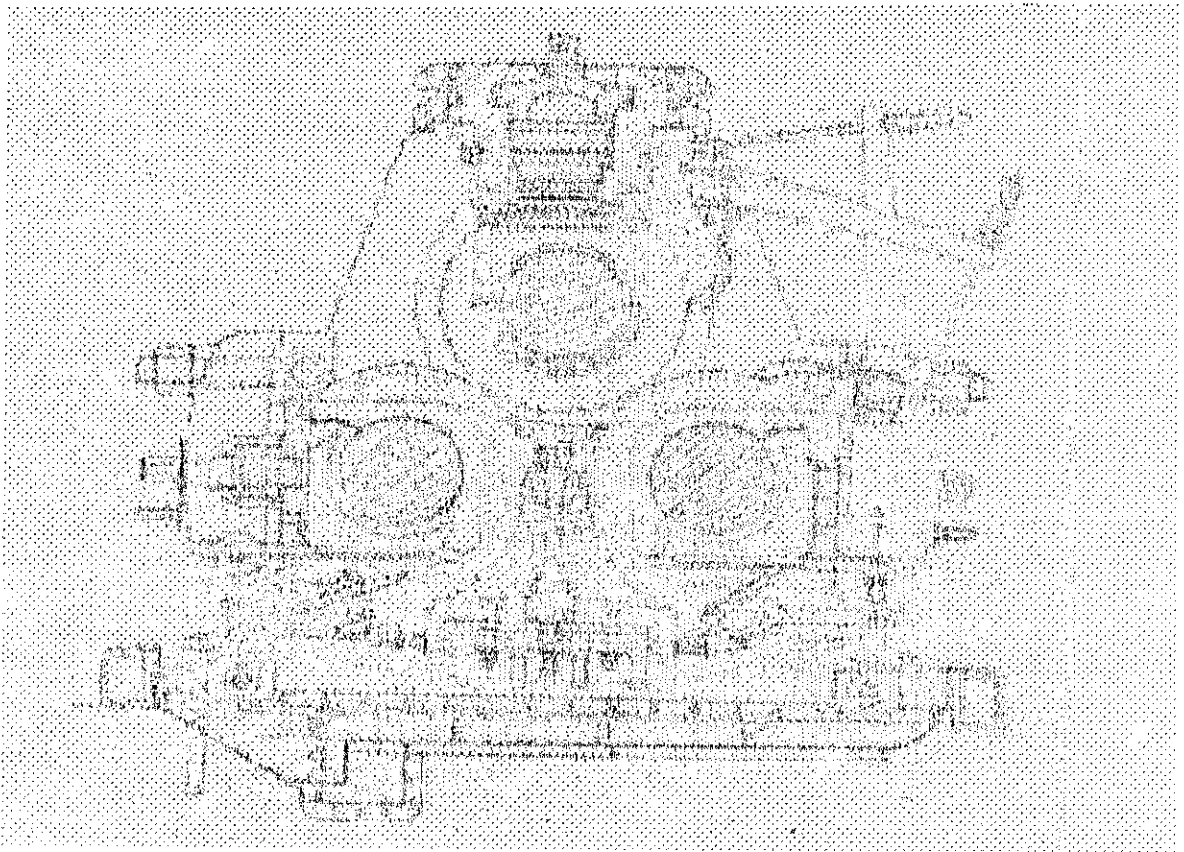


Figura 1 Partes de un molino

## 1.1 Virgen

Las virgenes son estructuras laterales del molino las cuales forman la distribución necesaria para que las mazas (3 o 4 de ellas) se instalen de tal forma, que el número de compresiones sea el mayor con el menor número de mazas, aprovechando así al máximo la potencia y uso de cada equipo que realiza el trabajo mecánico en cada molino.

La fabricación del diseño de los molinos comienza en la diversidad de tipos de virgenes, persiguiendo así conseguir la máxima extracción de jugo en la caña, con las diferentes hipótesis de aplicación de fuerza de los cilindros sobre la caña, la cual varía con el diseño de las virgenes.

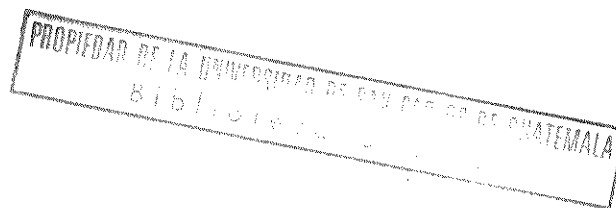
### 1.1.1 Los tipos de virgenes mas comunes son

- 1 Virgen Cail
- 2 Virgen Squier
- 3 Virgen Fives
- 4 Virgen con pernos reales y pernos horizontales.

### 1.1.2 Diferencias por su diseño

Las diferencias más importantes en el diseño de virgenes son:

- a.- El ángulo de desplazamiento de la maza superior, éste puede ser hacia arriba y se le llama vertical.(caso Virgen fives).



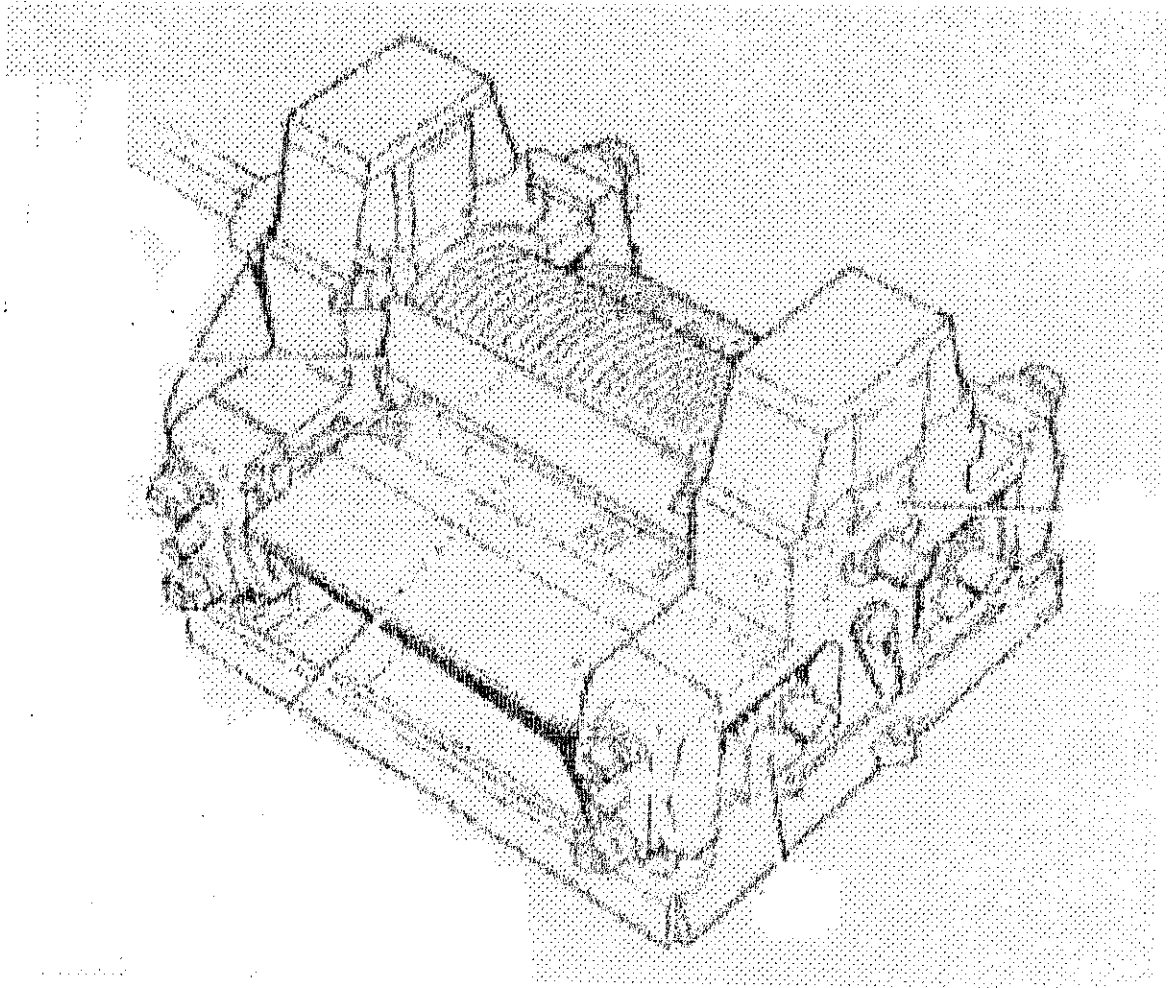


Figura 2 molino isométrico

b.- Si es levemente inclinada hacia atrás, o sea hacia la maza cañera se le llama virgen inclinada, y normalmente el Angulo es de 15 Grados con respecto a la vertical (caso Virgen Caíl).

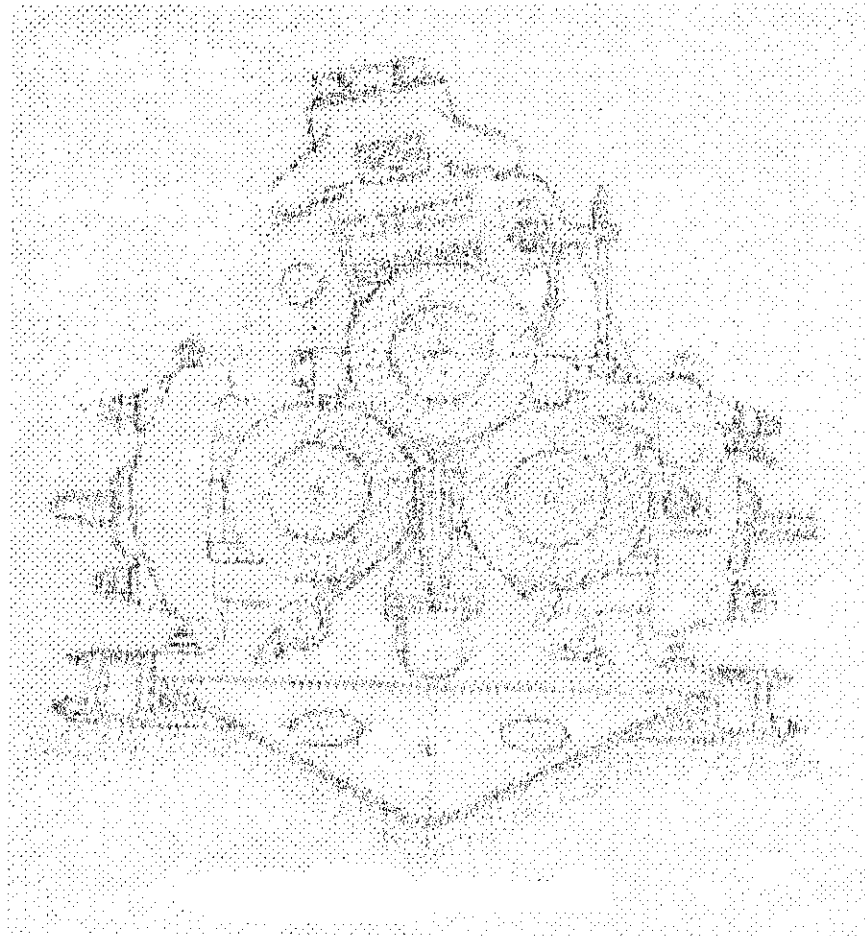


Figura 3 Virgen Caíl

c.- El ángulo de inclinación en los soportes de las chumacera de las mazas inferiores, es con el objetivo de realizar el ajuste de abertura de entrada y salida de las mazas y ajuste por desgaste de cilindros se haga sin modificar el ángulo de abertura del molino (caso Virgen Squier).

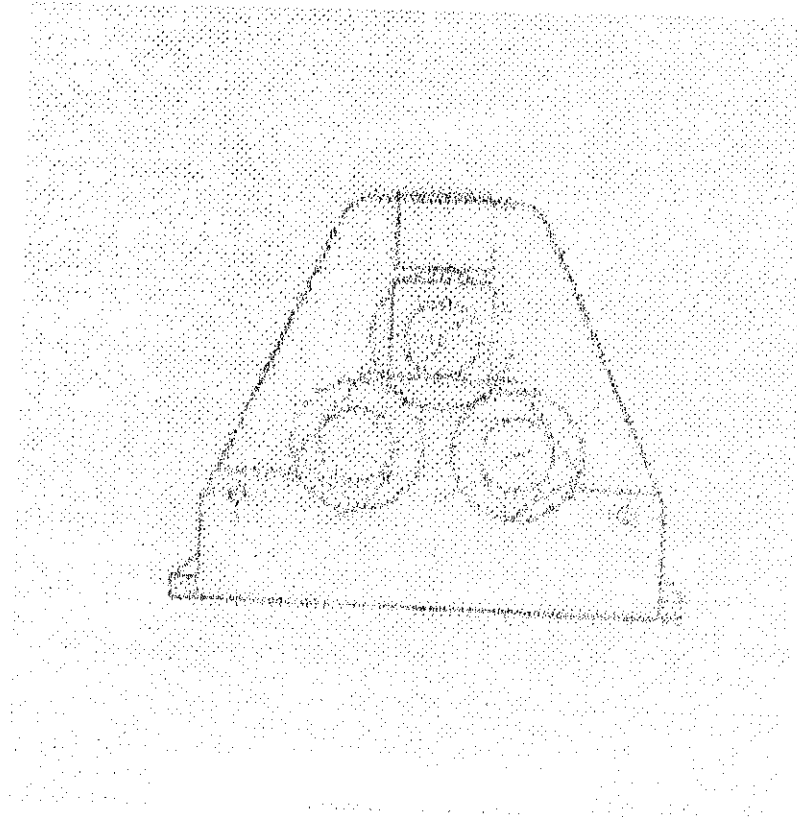


Figura 4 Virgen Squier

d.- Por los pernos que sujetan las bisagras de mazas inferiores y el cabezote hidráulico de la maza superior, comúnmente a estos últimos pernos se les llama pernos reales o pernos horizontales (caso Virgen pernos reales).

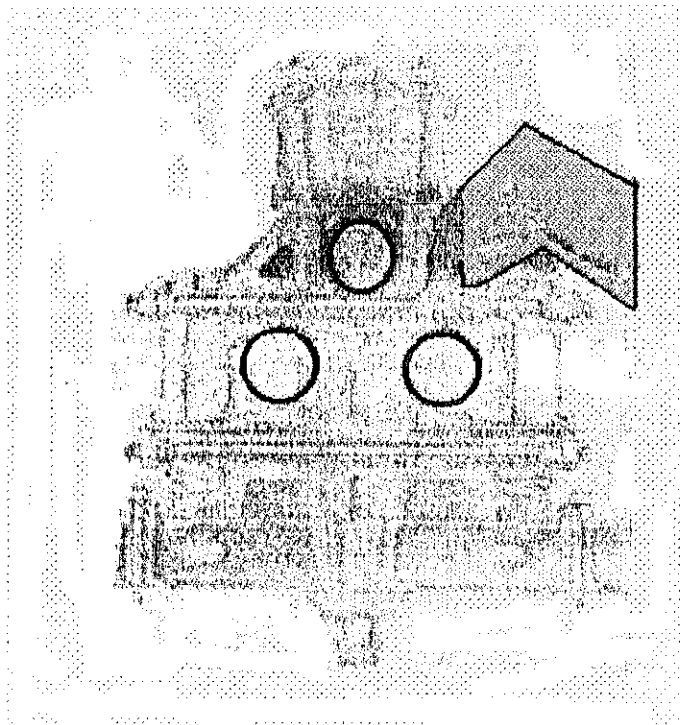


Figura 5 Virgen pernos reales

e.- Por el número de mazas de cada molino que normalmente es de 3 pero actualmente se compran o se convierten en una maza adicional la cual trabaja con una abertura mucho mayor que las otras y a mayor velocidad tangencial (10%) que la maza superior, esto mejora la alimentación y capacidad del molino y se le llama cuarta maza.



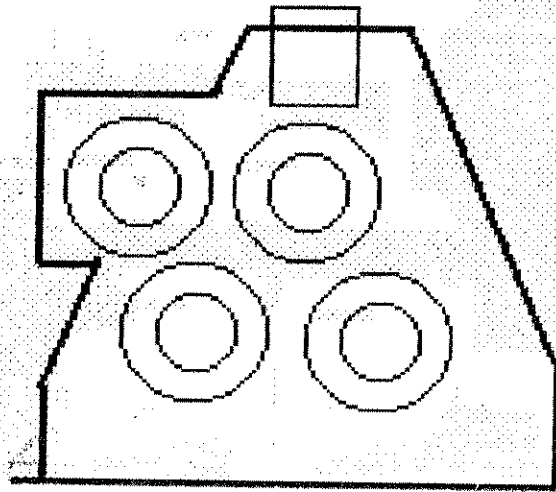


Figura 6 Virgen con cuarta maza

### 1.1.3 Bisagras

Otra parte de las vírgenes son las bisagras o monos laterales, las cuáles sujetan en forma horizontal las cajas o chumaceras de cada extremo al eje de maza o cilindro, estas bisagras son fijadas con tornillos o pernos largos que a veces sujetan las dos bisagras inferiores, éstas deben ser fáciles de desmontar, ya que el tiempo para el mantenimiento de cada maza cañera es extenso, además que el período de zafra es corto y se lleva un estricto control en el tiempo perdido. Las bisagras poseen al centro un tornillo con rosca cuadrada para ajustar o separar la abertura de cada cilindro o maza.

Por su ubicación cada bisagra ajusta la maza Cañera, maza Bagacera y la Cuarta maza.

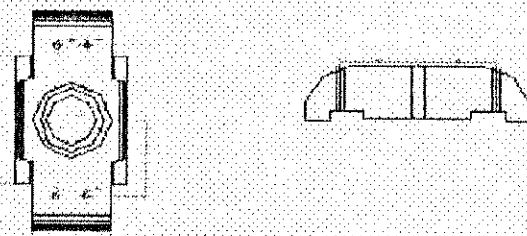


Figura 7 Bisagra

### 1.1.4 Cuchillas raspadores:

Normalmente son de fundición gris y estas limpian la caña que atrapa la maza por su rayado, el cual debe estar limpia para la siguiente vuelta, en la que tiene que dejar pasar el jugo hacia la bandeja. Por su posición las cuchillas pueden ser bagaceras;

Superior, de Cuarta Maza y Cuchillas Centrales.

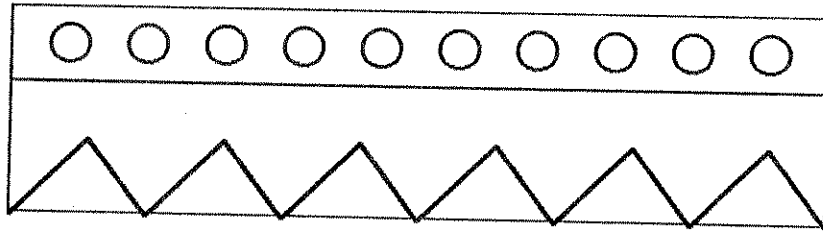


Figura 8 Peine raspador

### 1.1.5 Chumaceras

Son piezas formadas por una teja de bronce con forma circular y su estructura de forma rectangular, de lámina de hierro negro; las cargas sobre una chumacera superior oscilan entre 160 y 200 toneladas lo cuál se convierte en  $200 \text{ tons} / 587 = 681 \text{ lb/pulg}^2$  en donde, 200 tons. es la fuerza ejercida sobre la chumacera y 587  $\text{pulg}^2$  es el área proyectada de la tela de 17" x 22" largo; esta carga es ejercida a un 50% del área de la teja de bronce, ya que la fuerza aplicada en las caras laterales la fuerza aplicada son realmente nulas, y esto lo podemos comprobar en el desgaste de las tejas al terminar su ciclo de trabajo.

Algunas se llaman cajas, las cuales son de bronce y forman parte integral de las tejas, aunque las cajas de bronce se han dejado de usar por su alto costo de fabricación

local y difícil acabado de fundición.

Las cajas en su interior llevan laberintos y espacios para ser enfriadas con agua, dicha agua está en contacto directo con la caja y la teja, pero no debe tocar el muñón del eje para no lavar el lubricante allí depositado.

Las cajas inferiores cambian un poco su diseño debido a la fuerza de acción que la maza superior ejerce sobre la maza inferior, por lo que dicha chumacera es como lo muestra la figura siguiente, pero tanto sus materiales como su enfriamiento son iguales. Es importante hablar de la lubricación de cada teja ya que la vida de un equipo depende de una buena lubricación, y este es el caso de las dos superficies en contacto como lo son la teja y el muñón de la maza. El punto de suministro de lubricación, es detalle que no debemos pasar por alto, la entrada del lubricante debe ser en el principio del recorrido de las dos superficies en contacto, como lo vemos a continuación.

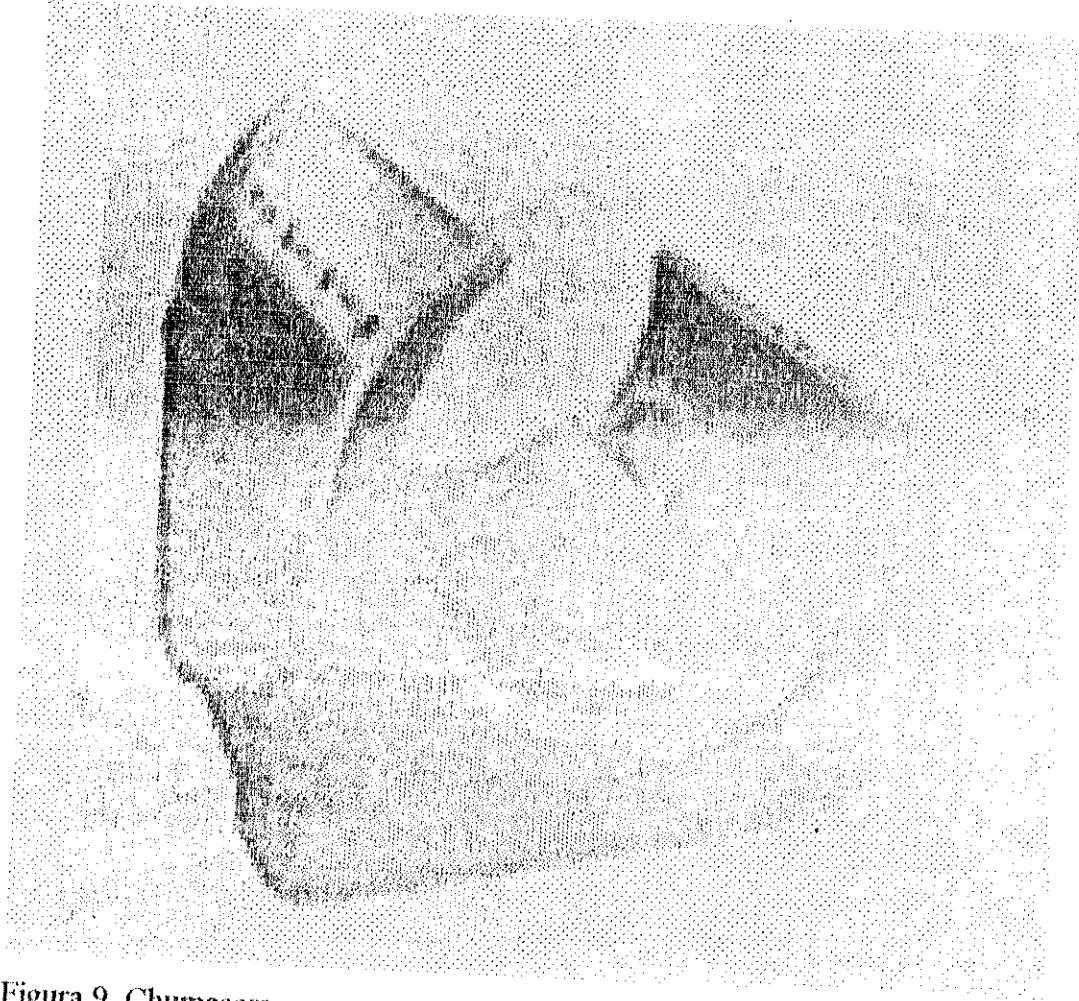


Figura 9 Chumacera

Podemos observar fácilmente que el punto a lubricar depende de la rotación del muñón o eje, pues si la rotación en el caso anterior cambia también debemos cambiar el punto de lubricación hacia el otro extremo.

El lubricante que entra a la caja debe ser distribuido en forma uniforme por lo que la dicha toma de entrada se le hace una ranura en la teja a lo largo de todo el muñón con dos entradas de lubricante, esto nos asegura que no exista contacto entre las superficies metálicas, ya que ambas deben estar cubiertas por una capa de lubricante perfectamente distribuido, la dosificación de lubricante oscila entre 0.085 y 0.095 Litros por hora por chumacera (promedio Santa Ana  $0.09293/\text{hora}/\text{chumacera}$ )= 33 galones diarios, consumo que nos lleva a 0.67/hora de cada chumacera esto en 150 días de zafra es Q2,412.00/chumacera/zafra, como pueden ustedes observar, el costo de mantenimiento de cada chumacera en época de zafra es alto y si aún más lo multiplicamos por 56 chumaceras con las que cuenta nuestro tandem se convierte en Q135,105.00 por ZAFRA, y de aquí la importancia del tema sobre las chumaceras de molinos que solo es una pequeña parte del tandem.

### **1.1.6 Cabezotes hidráulicos**

La distancia entre los 3 cilindros o mazas lo debe determinar la altura del colchón de bagazo, además permitir movimientos elásticos para dejar pasar piezas de acero y otros que puedan romper el cilindro o la virgen; lo anterior se logra por medio de la combinación de cabezotes y acumuladores hidráulicos, dicha combinación logra mantener una presión constante sobre el cilindro independientemente de la posición del mismo, aumentando así la extracción de jugo de caña.

### 1.1.6.1 Presión hidráulica.

Anteriormente esta presión se obtenía de unos resortes pero en la actualidad la presión hidráulica al pistón se obtiene de una tubería que viene de un acumulador hidráulico y que fué previamente confinado a una presión indicada (2,000 a 3,000 Psig.) por medio de una bomba: Con esta presión hidráulica el pistón produce una fuerza sobre cada chumacera de:

Presión Hidráulica 3,000 PSI.

Diámetro pistón 13 Plgs.

$$F = P \times A = (3,000 \text{ PSI}) \times (132 \times \pi) = 398197.8 \text{ Lb.}$$

$$F = 398197.8 \text{ Lb} = 199.09 \text{ Toneladas máximo.}$$

$$F = 200 \text{ Ton}$$

Aproximando = 200 Tons., dato que di en la presión ejercida sobre chumaceras.

### 1.1.6.2 Flotación en cilindros superiores

La flotación es importante para la extracción del jugo y aunque el alineamiento de las vírgenes y catarina son para una flotación de  $\frac{1}{2}$ ", el comportamiento es el siguiente:

- a. Flotación a  $\frac{1}{4}$ " , es baja y de poca extracción
- b. Flotación de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{4}$ " es normal, y de muy buena extracción
- c. Flotación de  $\frac{3}{4}$ " a 1" es excesiva.
- d. Flotación de 1" en adelante es peligrosa por ruptura de ejes y dados de acople.

### 1.1.6.3 Valores de presión hidráulica:

Generalmente las presiones van de 2,000 a 3,000 Psig. (Lbs/Plg<sup>2</sup>), pero esta presión se ejerce principalmente en el último molino y a veces también sobre el primer molino, esto para lograr menor humedad en el bagazo y mayor extracción.

Las presiones hidráulicas dependen de la fuerza que deseamos lograr sobre la chumacera, es por eso que depende del diámetro del pistón.

Un dato no menos importante es la resistencia del bronce de las tejas, la cual debe oscilar entre 700 y 900 Libras/Plg<sup>2</sup>, aunque que a mayor presión mayor desgaste, por ello que la siguiente información nos será de mucha utilidad en presiones de trabajo.

- Molino 1 - 2,000 Psi, 15" diámetro pistón = 176
- Molino 2 - 2,500 Psi, 12" diámetro pistón = 169
- Molino 3 - 2,200 Psi, 13" diámetro pistón = 146
- Molino 4 - 2,200 Psi, 13" diámetro pistón = 146
- Molino 5 - 2,200 Psi, 13" diámetro pistón = 146
- Molino 6 - 2,200 Psi, 13" diámetro pistón = 146
- Molino 7 - 2,500 Psi, 13" diámetro pistón = 165

Para una razón de molienda de 12,000 Tons. caña/día y una recarga de nitrógeno en la vejiga del acumulador de 2,000 Psi.

Si queremos sobrepasar las presiones arriba mencionadas no debemos olvidar la seguridad del equipo y una buena lubricación. Si se desea moler mas debemos bajar la presión hidráulica pero arriesgamos mas: (rupturas a ejes, desgaste de chumaceras y fatiga de equipo).



#### 1.1.6.4 Factores que influyen en la flotación

La flotación deseada se calcula en base al alineamiento con la reducción de baja o catarina, pero esta flotación la afectan los siguientes factores.

- Presión hidráulica.
- Velocidad de la maza.
- Altura del colchón de bagazo (o razón de molida).
- Ajuste en cilindros.

#### 1.1.6.5 Presión sobre el bagazo.

La presión ejercida sobre el cilindro superior no es la presión indicada sobre el bagazo, la presión sobre este último depende del diámetro del cilindro y longitud del mismo.

Si aplicamos 200 toneladas sobre un cilindro de 44" diámetro x 84" longitud no será la misma presión en el bagazo. Si aplicamos 200 toneladas sobre un cilindro de 40" diámetro x 77" largo en el molino más grande, la presión total se reparte sobre una superficie mayor de bagazo.

Si queremos aplicar la misma presión sobre el bagazo en el caso de los dos molinos anteriores debemos encontrar la presión sobre cada cilindro con la siguiente formula:

$$P = K \times L \times D \text{ donde:}$$

P= Presión aplicada sobre cilindro superior.

K= Constante diámetro coeficiente numérico.

L= Longitud del cilindro.

D= Diámetro del cilindro.

### **1.1.7 Acumuladores oleo-neumáticos**

En lo referente a acumuladores existen varios diseños pero de menor costo y de mejor funcionamiento es el creado por Edwards de Estados Unidos el cual se instala en la proximidad del cabezote hidráulico. Este acumulador es una botella de depósito de lámina soldada y encierra en su interior un globo o vejiga inflada por nitrógeno que se comprime y se contrae cuando la presión hidráulica en el exterior de la vejiga (pero interior de la botella) aumenta o disminuye.

Esta vejiga es fácil de recargar y proporciona una solución a nuestro problema de flexibilidad de la flotación de la maza o cilindro superior y además posee varias ventajas como lo son:

- Fácil mantenimiento.
- Fácil instalación junto al cabezote.
- Evita tuberías largas de transmisión hidráulica.
- Actúa con menos pérdida de presión por su corta manguera al cabezote y por lo tanto es más sensible al cambio de presión.
- Facilita desmontar el cabezote por su manguera de ensamble rápido.

## 1.2 Mazas

Las mazas son llamadas también cilindros, los cuales son colocados de acuerdo al diseño de la distribución de las vírgenes. Estas mazas o cilindros constan de dos partes:

Un eje de acero en el centro y un buje de fundición gris por la parte de afuera, a esta última se le llama camisa de hierro fundido.

Los ejes comunmente son de acero 1042 clase "D", normalizados, templados, premaquinados, y forjados para aumentar su resistencia mecánica, estos ejes conforman los muñones que soportan las chumaceras de bronce.

La otra parte que es la camisa, que se podría usar totalmente lisa, sin embargo la capacidad de un cilindro liso es sensiblemente inferior a la de un cilindro de un molino de las mismas dimensiones y velocidad, cuyos cilindros están rayados (ranurados), además los cilindros rayados dividen mejor el bagazo, rompen y separan la fibra de manera más completa, facilitando así la extracción del jugo, haciéndola más eficiente.

### 1.2.1 Tipos de rayado

Los rayados o ranurados más comunes son los circulares. Para hacer el rayado se trazan en los cilindros o mazas describiendo círculos completos en un plano perpendicular al eje y regularmente distribuidas en la periferia.

La sección de un rayado forma un triángulo isósceles y cuyo ángulo mide entre 45 y 55 grados dependiendo la ubicación de la maza.

En la punta del diente no se debe dejar aristas o filos frágiles de quebrar, por lo que se corta la punta a un ancho de 3/16" a 1/8" de espesor y de la misma manera en el fondo del diente, ya que de esta forma la punta facilita la deposición de soldadura de recubrimiento duro y el fondo facilita la limpieza de los peines raspadores.

Las ranuras o rayado se distinguen por su altura y su paso del diente como se muestra en la figura No. 10.

Cuando la profundidad del diente es mayor que el paso, el ángulo de fondo es menor, o sea 45 grados y esto se aplica comúnmente a las mazas cañeras de cada molino para mejorar el drenaje del jugo hacia la parte de atrás, además de aumentar la separación de la fibra entre sí. Los rayados de las mazas se clasifican en dos grupos:

a.- Por su ángulo: pueden ser de 45 a 50 grados, y como dije anteriormente el ángulo de 45 grados se utiliza en mazas cañeras y 50 en mazas bagaceras y superiores además de las cuartas mazas. Este ángulo, en algunos libros mencionan pruebas que van desde 40 a 60 los cuales aplican diferentes hipótesis y justificaciones, pero hasta ahora los más usados son 45 y 50 ya que han dado muy buenos resultados y mayor facilidad de maquinado.

*Angulo 45 grados ---> Cañeras y Superiores*

*Angulo 50 grados ----> Bagaceras y Cuartas mazas*

b.- Por su paso: pueden ser de  $\frac{1}{2}$ ", 1", 1-1/2", 2", 3", pero los más usados son de 2" y 3" y en algunos países usan la combinación entre ellas, por ejemplo: Superior de 2" con bagacera de 1" de paso.

En nuestro medio los únicos rayados usados son 3" y 2", en la siguiente distribución:

Molino 1 y 2 -----Rayado de 3"

Molino 3 en adelante-----Rayado de 2"

Es importante mencionar que el rayado de un molino se hace de tal forma que los dientes de la maza superior engranen con las ranuras de las otras mazas, es por eso que al rayado de la maza superior se le llama Macho al Centro, y al de las demás Mazas, se les llama Hembra al Centro logrando de esta forma el engrane perfecto entre el juego de mazas de un molino.

Las variaciones de las dimensiones del rayado van de acuerdo a la ubicación de molinos. La dimensión del rayado es mayor en los primeros molinos y menor en los últimos molinos por las siguientes razones:

a.- La fibra del bagazo se hace más fina conforme va recorriendo del molino 1 en adelante o sea hacia el molino 7 en nuestro caso.

b.- Uno de los fines de rayado es dividir el Bagazo y romper la fibra para hacer más fácil la extracción del jugo; es entonces la razón por la que en los primeros molinos se hace un

rayado más grande para lograr mejor el efecto de división más completo y se hace menos necesario en los últimos molinos.

c.- Con un rayado grande no puede obtenerse una buena extracción cuando el cilindro está gastado y especialmente en los últimos molinos.

Aunque este último razonamiento no está demostrado completamente ya que no está bien fundamentado, tampoco puede pensarse que la solución enunciada sea formalmente errónea ya que en casi todos los ingenios guatemaltecos la aplicación del tamaño del rayado se cumple y normalmente es como lo muestra la tabla siguiente.

Molino No.	1	2	3	4	5	6	7
Batería de 28 Mazas Rayado:	3"	3"	3"	2"	2"	2"	2"

Lo más común y deseado es que los primeros dos molinos tengan rayado de 3" y los demás rayado de 2". El cuadro anterior se hace bajo el supuesto que cada molino posee sus cuatro mazas con el mismo rayado indicado en la tabla. Aunque en algunos países como Hawai se hace una serie de combinaciones en donde el rayado de la Superior es menor que el rayado de la maza cañera y el de la maza bagacera es igual al de la maza superior, y en los casos de molinos que usan 3 mazas el razonamiento anterior acentúa y respeta el papel que debe desempeñar cada maza, el de la maza cañera es forzar la entrada de caña al molino y la maza Bagacera es lograr la máxima extracción de jugo.

Los rayados de mazas en los últimos molinos pueden llegar hasta de 1" como los usan normalmente los colombianos, pero tiene la inconveniencia que cuando se desgastan aunque sea en la misma cantidad de material que se desgastan las mazas de rayado grande (3" por ejemplo), luce más deteriorada debido a que el diente es menor; además los dientes pequeños son fáciles de romper en las puntas cuando pasan muchas piedras, caso de los Ingenios guatemaltecos.

Además los rayados pequeños en las mazas, hace perder capacidad en los molinos, y algo fundamental en la industria azucarera guatemalteca es moler lo más que se pueda con los equipos que posee con la menor inversión, lo que hace ser más eficientes a las industrias similares en otros países.

En las mazas de rayado pequeño es necesario abrirlos o aumentarles su velocidad tangencial para poder así compensar el tonelaje proporcionado por molinos que le preceden y que tienen rayado mayor.

En resumen, el rayado pequeño tiene sus inconvenientes y sólo es útil cuando las baterías de molinos trabajan abajo de su capacidad de diseño como ocurre frecuentemente en otros países.

### **1.2.2 Rayado Inferior/Superior**

Este rayado se diferencia normalmente que en la maza cañera se dá menor ángulo de fondo y por consiguiente mayor área que la maza superior, regularmente se usa 45 grados en Cañera y 50 grados en maza superior como se indica abajo.

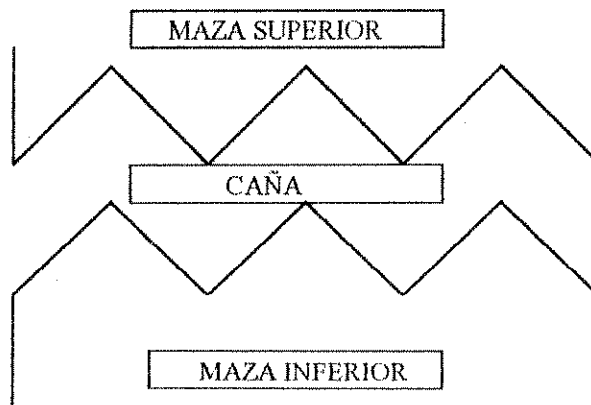


Figura 10 Rayado de mazas

De esta manera la caña que se encuentra en las ranuras de la maza cañera se comprime mejor, y deja un pequeño espacio libre en el fondo del diente por donde puede escurrir más fácilmente el jugo.

No es usual dejar menos de 45 grados en la maza Cañera, ya que los pedazos de hierro que pasan con la caña les hace mayores daños. Además de la fragilidad también el desgaste crece a medida que el ángulo de fondo de diente disminuye.

### 1.2.3 Messchaerts

Una alternativa adicional al del menor ángulo en la maza cañera lo viene a ser el Messchaerts (también escrito Messhaerts), estos fueron inventados en Hawái. Los Messchaerts tienen el único objetivo de facilitar la salida del jugo en su primera etapa de compresión, mejorando así el porcentaje de extracción en el Molino.



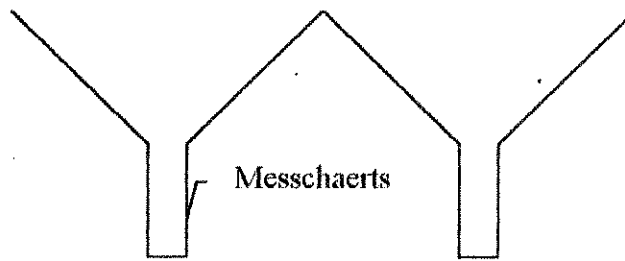


Figura 11 Messchaerts

En la zona entre la cuarta maza y la superior se hace el trabajo de alimentación forzada al molino, en la zona superior ya la maza cañera realiza la compresión en donde se extrae la máxima cantidad de jugo y este jugo no tiene mas que 2 salidas, una hacia la cuchilla central (hacia la maza bagacera) y la otra hacia atrás (entre la cuarta maza y la cañera) cualquiera que sea el recorrido de este jugo se topa con el bagazo ya comprimido que se mueve en el mismo sentido hacia la maza bagacera o en sentido contrario si el jugo sale hacia atrás.

Messchaerts basa aquí su teoría, que una ranura más profunda en el fondo del diente de la maza cañera facilita la salida del jugo, como podemos observar en la siguiente gráfica.

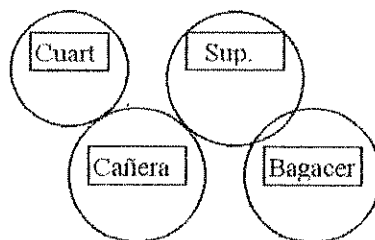


Figura 12 Ubicación de mazas

Estas son ranuras y canales circulares más o menos espaciados como el de la figura anterior, facilitan la salida del jugo entre la cuchilla central y la cañera, ya sea para adelante o hacia atrás, logrando así el jugo pasar fácilmente su obstáculo. También puede salir o escurrir sobre la maza cañera hacia en contra de la rotación de la misma cayendo a la bandeja de maceración.

Lo mismo pasaría entre la maza superior y la bagacera, pero el jugo tiene la facilidad de fluir hacia atrás pasando entre la cuchilla central y la maza bagacera, abertura suficiente que permite este paso.

#### 1.2.4 Tipos de Messchaerts

El espesor normalmente puede ser de  $3/16$ " y  $1/4$ " y la profundidad es de 1". No representa ninguna ventaja el Messchaert muy ancho, o sea mayor de  $1/4$ " pues la presión penetra en las ranuras y si son anchas el diente se hace menos rápido.

La profundidad de Messchaert depende de la cantidad de jugo que sea necesario evacuar, pero la profundidad adecuada es de 1" pero cuando la cantidad de molida es muy alta (mayor a 10,000 Ton.Caña/Día) y la Imbibición es fuerte, esta profundidad no es suficiente para evacuar todo el jugo de la Maza Cañera o Maza de Entrada, entonces se aplica la ranura Messchert en casi o en todos los fondos de dientes, y en casos como en Hawai se llega hasta 40 y 50mm ( $1-15/16$ ") de profundidad.

No es recomendable usar Messchaert en las mazas bagaceras por las siguientes razones:

- a.- Debido a la menor cantidad de jugo que extrae dicha maza.
- b.- Debido a que la presión en esa área es más elevada, los dientes vecinos a los Messchaert se quebrarían fácilmente.
- c. Los raspadores Messchaert harían mayor esfuerzo para sacar el bagazo dentro de las ranuras y por lo mismo podría embagazarse a causa de la rotura o corrimiento de un raspador Messchaert.
- d.- Por las razones anteriores las ranuras Messchaerts tendrían que ser de poca profundidad y menor ancho, siendo así innecesarias para dicha aplicación.

#### 1.2.5 Raspadores Messchaerts

Estas son barras de acero de  $\frac{1}{4}$ " X 2" X 12" de largo que son colocadas frente a cada Measschaert, con una punta prolongada que se lleva al fondo de cada Messchaert del cilindro.

La punta de cada raspado Measschaert se lleva de tal manera que tome un ángulo de 30 grados con respecto a la superficie de la maza.

Con respecto al alineamiento es importante que la punta de cada raspador de Messchaert esté alineado frente a cada ranura, pues de no estarlo se gastarían las paredes de cada ranura y se iría disminuyendo así su eficiencia en el drenado de jugo, es por esto que deben estar con un perfecto alineamiento y fijación al eje en forma firme y precisa. Los ejes suelen ser de sección cuadrada y ranurada en la siguiente forma:



Figura 13 eje de Messchaerts

#### 1.2.6 Chevrones

El objetivo primordial de los Chevrones es mejorar la alimentación de caña al molino, esto se podría decir que aumenta la tracción de caña y la empuja hacia dentro del molino.

Los Chevrones son muescas o cortes tallados en los dientes de una maza, cuya sucesión describe una hélice hacia los extremos. Tienen un diseño igual de las desmenuzadoras Fulton y la sección se ve así. La distribución de los Chevrones varia pero normalmente se usan de 8 a 12 Picas (o filas) a lo largo del perímetro del cilindro, el largo de cada muesca va de 4" a 6" y con una profundidad de 1" a 2" cuando el rayado

es de 3", o de 1" a 1-1/2" cuando el rayado es de 2". No es recomendable la profundidad mayor al 75% del alto del diente o sea no debe llegar al fondo del diente pues el peine raspador podría topar contra el fondo y estos producirían quebraduras de dientes del raspador.

Solo deben hacerse Chevrone a la entrada o sea a la maza superior y cañera, pero nunca a la maza bagacera pues esto no tendría ninguna utilidad ya que esta maza es alimentada forzosamente por la superior y cañera, y el espacio que ocupan los Chevrone estaría lleno de caña sin comprimir, por eso es inusual los chevrone en bagaceras, y por la misma razón el chevrón no debería usarse en la maza superior en el último molino, ya que la última compresión del bagazo lo hacen la maza superior y bagacera, además por ningún motivo debe usarse chevrón en los últimos molinos, pues lejos de mejorar su alimentación, harían perder extracción.

En conclusión los chevrone ayudan mucho cuando lo que queremos lograr es moler más del diseño original del molino, pero nos debemos limitar a utilizarlo únicamente en las mazas Cañeras, pues éstas se han comprobado que son útiles pero no necesarios y en la ubicación recomendada no es más importante la extracción que la alimentación forzada.

#### 1.2.7 Desgaste de las mazas

El origen del desgaste se debe principalmente a las siguientes causas.

- a.- Desgaste del metal originado por la acidez del jugo (corrosión).

- b.- El contacto de metal y metal con los peines raspadores y cuchillas centrales.
- c.- El paso de pedazos de hierro y piedras que rompen los dientes de la maza.
- d.- La necesidad de torneear para recobrar el cilindrado a lo largo de la maza, pues este desgaste es mayor al centro que a los extremos, además el torneado reduce la irregularidad causada por los dientes rotos.

Es importante que se realice por completo el trabajo de reparación de una maza ya que éste permite ser más exacto en el ajuste inicial del cual depende tanto la extracción como el buen funcionamiento de todo el tandem de molinos.

#### 1.2.8 Reparación de mazas.

El trabajo de reparación de mazas se realiza en los siguientes pasos, luego de una revisión minuciosa al eje por posibles grietas:

- a.- Quitar la soldadura de recubrimiento duro con pulidoras manuales o máquina de pulir como la de la figura 14.

## MAQUINA DE PULIR MAZAS

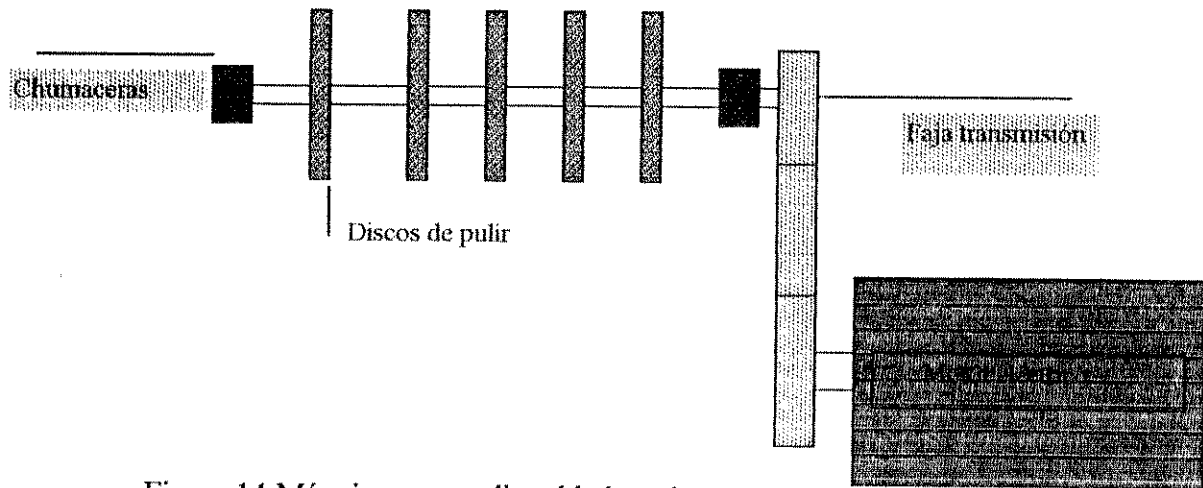


Figura 14 Máquina para pulir soldadura de mazas

- b.- Cilindrado al mayor diámetro posible en un torno pero quitando toda la conicidad que pudiera tener la maza y eliminando en todo lo posible los dientes rotos.
- c.- La soldadura de los dientes rotos con electrodo de hierro fundido para conseguir reponer todo el material necesario para formar de nuevo el diente.
- d.- Pulir el exceso de soldadura hierro fundido All-State 860 para conformar el diente, esto se realiza con pulidora manual.
- e.- Chorreado de la maza con electrodo de recubrimiento duro como Azúcar 80.

### **1.3 Sistema de lubricación**

Los sistemas de lubricación tienen un papel muy importante dentro de la operación de un molino, pues a mayor molienda debe de aplicarse mejor lubricación.

#### **1.3.1 Finalidad de la lubricación**

- a.- Reducir a un mínimo los esfuerzos de fricción.
- b.- Evitar el contacto directo de metal con metal de las piezas en movimiento.
- c.- Disminuir el desgaste.
- d.- Impedir la oxidación de las piezas.
- e.- Eliminar el carbón, polvo y partículas metálicas.
- f.- Refrigerar o enfriar internamente las piezas. Por ello es importante elegir adecuadamente el lubricante para cubrir la velocidad y carga adecuada para cada equipo y tipo de diseño de la chumacera que deseamos trabajar. Para la elección de un lubricante debemos considerar:
  - 1.- Velocidad tangencial
  - 2.- Carga unitaria
  - 3.- Temperatura de trabajo y ambiente
  - 4.- Diseño y material del equipo.



Las características que debe poseer un lubricante para un molino deben ser:

- 1.- Viscosidad adecuado a la velocidad
- 2.- El menor cambio de viscosidad posible con respecto al cambio de temperatura.
- 3.- Estabilidad Química.
- 4.- Acción detergente.
- 5.- Aditivo de extrema presión.
- 6.- Que no se lave con el agua.

#### 1.3.2 Tipos de lubricación

Existen dos tipos de lubricación en un tandem de molinos, y llamados por su nombre comercial son:

- 1.- Sistema lincoln.
- 2.- Sistema farval.

### 1.3.2.1 Sistema de lubricación lincoln

Es aplicado a las coronas, las cuales son encargadas de transmitir la potencia desde la maza superior a las otras tres mazas, la forma de aplicación es por medio de un (spray) atomizador que se logra combinando el aire y el lubricante a la vez.

Las partes de que consta este sistema son:

- 1.- Bomba de pistón recíprocante.
- 2.- Motor neumático.
- 3.- Control electrónico de tiempo de aplicación de lubricante y ciclo de lubricación.
- 4.- Línea o tubería desde la bomba hasta cada punto de aplicación.
- 5.- Inyector dosificador de lubricante SL1 Y SL11.
- 6.- Boquilla de aspersion o Spray.
- 7.- Línea de aire para atomizar lubricante.

La presión a la que trabaja el lubricante está entre 1,500 y 2,000 PSI, y el motor neumático recibe 80 PSI de aire comprimido limpio y seco.

El tiempo de inyección es de cada 30 minutos y el tiempo de bombeo es el necesario para que los inyectores SL1 y SL11 descarguen la cantidad de lubricante para lo que fueron previamente ajustados.

Normalmente se usa inyectores SL1 para chumaceras de transmisión y coronas de mazas; y los inyectores SL11 para catarinas y piñones de mayor tamaño.

Podemos observar los tipos de inyectores con las siguientes gráficas.

### 1.3.2.2 Sistemas de lubricación farval

Es el sistema que suministra lubricante a las chumaceras de molinos tanto de las mazas cañeras, bagaceras, superiores y cuartas mazas, este es controlado mediante el siguiente diagrama.

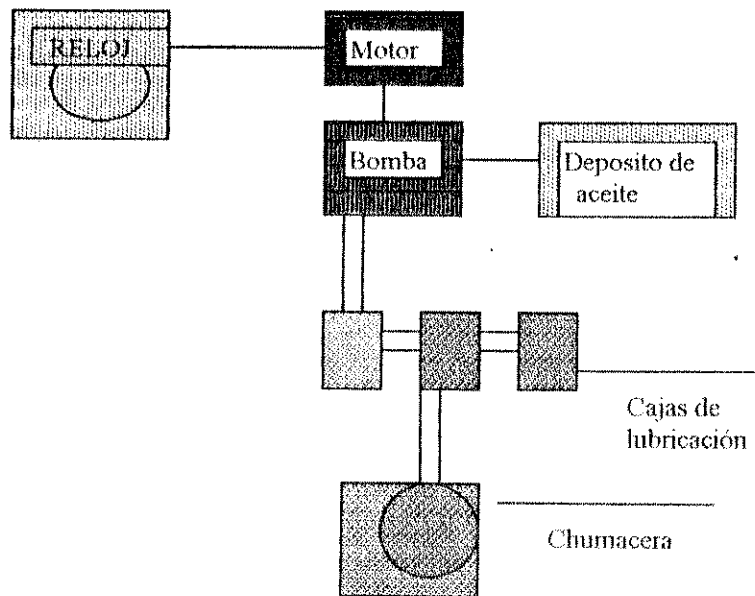


Figura 15 Diagrama de un sistema de lubricación farval

### 1.4 Cuchillas raspadoras

El objetivo principal de las cuchillas raspadoras es limpiar el bagazo que se queda atrapado entre los dientes de la maza o cilindro, este bagazo queda comprimido en el fondo del diente y el ángulo que forma el diente aunque es muy conveniente para comprimir y extraer el jugo del bagazo, también es fácil dejar atrapado el bagazo, para

lograr limpiar la maza se ha usado varios tipos de raspadores y entre los cuáles el más usado y conveniente es el raspador de hierro fundido gris.

Otros raspadores son usados en otros países tales como los raspadores meashers pero éste deja pasar el jugo que cae sobre la maza superior es por eso que cuando se instala la cuarta maza en un molino ya no se debe usar raspadores measher en la maza superior.

#### 1.4.1 Características del material.

El material a usar en una cuchilla de fundición gris debe ser más suave, o sea de menor dureza que el material del que esta fabricada la maza o cilindro de compresión.

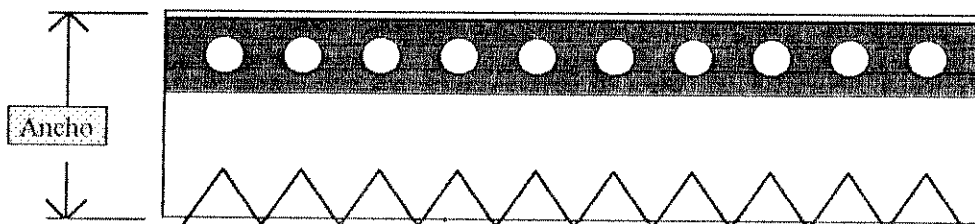


Figura 16 Peine de hierro fundido

#### 1.4.2 Ajuste de cuchillas

El ajuste de una cuchilla debe ser gradual y periódica conforme se observa el desgaste. Este control es más fácil llevarlos midiendo el ancho de cada peine o cuchilla durante la parada rutinaria de mantenimiento cada 15 días.

El ajuste se hace por medio de los tensores laterales hasta lograr compresionar el resorte que está en el extremo del tensor, éste apriete lo debe realizar una sola persona para evitar que se aplique demasiado torque.



### 1.4.3.2 Raspador maza bagacera.

Esta es similar a la anterior y la punta del peine ó raspador debe estar  $\frac{1}{2}$ " ó 2" adelante del centro de la maza bagacera en forma vertical.

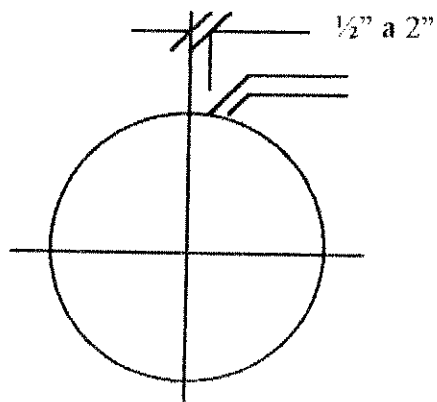


Figura 18 Ubicación peine bagacero.

## 2. CAPACIDAD EN MOLINOS

La capacidad de una batería de molinos es la cantidad de caña que ésta es capaz de pasar por unidad de tiempo. Se expresa generalmente en toneladas de caña por hora (T.C.H.); en América se acostumbra expresarla en tons. de caña por día.

### 2.1 Factores determinantes.

El tonelaje por hora significa que los molinos operan sin interrupción durante la hora que se considera, este caso es general y la cifra se obtiene fácilmente al final de la zafra dividiendo el tonelaje molido por el número de horas de operación de los molinos, a éste deben deducirse siempre las paradas y las interrupciones.

El tonelaje por día, por su parte, se obtiene dividiendo el tonelaje que se maneja durante la zafra entre el número de días de trabajo, sin deducir las pequeñas interrupciones. Sin embargo, mientras que las horas de molienda continuas son normales, es raro que pase un día de trabajo sin paradas de 10 a 20 minutos.

Una fábrica bien operada no debe perder más del 6% operación. De ésta cantidad media pueden convertirse las T.C.H. en toneladas de caña por día (T.C.D.) multiplicándolas por 23.75:

$$C \times T.C.H. = 23.75 \times T.C.D.$$

Los factores que determinan la capacidad son numerosos. Los más importantes son los siguientes:

- a) Contenido de fibra en la caña: aunque el volumen que llega a la desmenuzadora no depende del contenido de fibra, la resistencia de ésta a la acción de los cilindros es menos proporcional a ella. En el último molino de la batería, la cantidad del material que

se recibe es aproximadamente proporcional a la fibra y el grueso del colchón de bagazo comprimido a la salida es exactamente proporcional a la fibra, para la misma presión hidráulica resultante (P.H.R.).

- b) Dimensiones y velocidad de los cilindros: la cantidad de bagazo es evidentemente proporcional al producto del grueso del colchón por el área descrita por una generatriz en la unidad de tiempo, es decir:  $H.L.nD$ . Como H debe ser proporcional a D, el tonelaje varía como  $L.nD^2$ , es decir, es proporcional a la velocidad, a la longitud y al cuadrado del diámetro de los cilindros.
- c) Número de cilindros: un factor menos evidente pero importante, es el número de cilindros. A primera vista parece extraño que estos tengan algún efecto; si una cierta cantidad de bagazo pasa a través de cinco molinos, la misma cantidad pasa a través de tres molinos; la respuesta sería una menor extracción permisible. En una batería corta, el grueso del colchón de bagazo debe reducirse para obtener una extracción satisfactoria. En una batería larga, el grueso del colchón de bagazo puede aumentarse en proporción al largo de ella.
- d) Preparación de la caña: ya se ha visto como las cuchillas y la desmenuzadora aumentan la capacidad. Además de los factores enunciados, que son los más importantes, hay algunos otros que también integran la capacidad.
- e) Imbibición: cuanto mayor es la imbibición que se aplica, es más difícil alimentar los molinos, especialmente si se emplea agua caliente.
- f) Ranurado: el grano del metal y la forma y profundidad de las ranuras facilitan el agarre de la caña con los cilindros, las ranuras messchartes tienen un papel importante en su alimentación.



- g) Presión hidráulica: los molinos se alimentan más fácilmente con cargas ligeras.
- h) Diseño y condiciones de la batería: los molinos modernos se construyen con diversos perfeccionamientos que mejoran su capacidad. Por otro lado, el desgaste de las superficies por la fricción, particularmente en el sistema hidráulico, impide una buena operación del molino.
- i) Alimentadores forzados: los cilindros alimentadores y los alimentadores alternativos permiten aumentar el tonelaje, algunas veces de manera sustancial.
- j) Personal: finalmente, la calidad del personal responsable del ajuste y conservación de los molinos es un factor, de importancia en la capacidad.

## 2.2 Fórmulas de capacidad

Con estas fórmulas se puede analizar la capacidad del tandem para procesar fibra y el comportamiento e irregularidades que pueden existir en el trabajo y extracción del tandem. Como vemos, en la fórmula (2) además de la fibra y el pol en caña, contempla el pol de bagazo - relacionado directamente con la extracción del tandem.

Cf = capacidad de la batería en ton de fibra por hora (T.F.H)

$$C = \frac{0.57N_1 L^2 D^2}{f}$$

Según Maxwell dice que la capacidad es proporcional al volumen del cilindro:

$$C = 0.54 \frac{N_2 LD}{f}$$

Según Nayar y Pillsy la fórmula propone un grueso de colchón de bagazo constante:

$$C = 2.6NLD$$

Según Tromp la fórmula no integra la fibra ni la velocidad.

$$C = 127 \frac{C LD^2 N_2}{B}$$

Una vez establecida la razón de molida, los factores: tamaño, velocidad y número de molinos, así como la fibra y el pol de caña, no podemos cambiarlos en plena zafra. En cambio, la preparación de la caña, el agua de imbibición y forma de aplicar la maceración, sí están en nuestras manos.

Una buena preparación de caña se consigue con alimentación uniforme y los conductores de caña bien llenos y lentos. Buenos equipos de preparación, con suficientes machetes y correr las cuchillas a 680-720 R.P.M., para conseguir 85 a 90% de fibra abierta - con densidad de 15 a 20 libras/pie<sup>3</sup>, dependiendo del contenido de fibra.

El bagazo, al salir de los molinos tiene mucha capacidad para absorber líquido y se requiere gran cantidad para diluir el contenido de sacarosa y facilitar su extracción, al ser comprimido de nuevo.

Aquí está la gran ventaja de los molinos Walkers de cinco mazas y las cuartas mazas instaladas sobre los molinos existentes. Por mucha imbibición y maceración que se aplique y por mucho que se quiera moler, estos molinos aceptan toda la imbibición y el 100% del jugo del molino anterior.

### 2.2.1 Ejemplo.

Un ingenio tiene 5 molinos tamaño 36" x 78" y muele a 55 p.p.m.; Cuál es su capacidad nominal cuando la preparación de la caña tiene grado 2; Cuál es el Pol en Bagazo moliendo caña de 15% de fibra con 12.70 de Pol, si se aplica 30 % de imbibición?

1o. La capacidad de procesar fibra usando la fórmula (1) es:

$$\text{Cof} = 18 \times C \times N \times L \times D \times \sqrt{(1 - 0.0057 \times N)}$$

$$= 18 \times 1.25 \times 55 \times 6.5 \times 3 \times \sqrt{15}$$

$$= (1 - 0.0057 \times 55)$$

$$= 64,160 \text{ libras fibra/hora.}$$

$$\text{T.F.H.} = 64,160/2,204 = 29.10 \text{ tons.}$$

En caña con 15% de fibra, representa 194 T.M.H. de caña.

Usando la fórmula (3) que relaciona todos los factores de la molienda, tenemos:

$$\text{T.M.H} = 1.5636 \text{ fp pol B Tc LN X Imb}/(\text{fi})^2 \text{ Polc}$$

$$\text{Pol B} = \frac{\text{T.M.H. (fi)}^2 \text{ polc}}{\text{-----}}$$

1.536 fp Tc LN X Imb.

$$\text{Pol B} = \frac{194(15)^2 \times 12.70}{\text{-----}}$$

$$1.536 \times 1.25 \times 10 \times 6.5 \times 55 \times 30$$

$$\text{Pol B} = 2.69 \text{ de Pol en Bagazo}$$

Al elevar el comportamiento del tandem, si el Pol en bagazo difiere mucho del calculado, algo anormal existe: imbibición mal aplicada, malos ajustes o poca presión en los molinos, controles deficientes en el Laboratorio.

### 2.2.2 Capacidad:

Aún cuando todavía existen ciertas opiniones favorables a la fórmula tipo Maxwell en la que el diámetro está representado en su primera potencia es difícil eludir la lógica que conduce al uso del diámetro en su segunda potencia. Se llega al exponente 1 suponiendo que el colchón del bagazo es constante e independiente del diámetro.

Sin embargo, se toma como base la hipótesis de que el diámetro y el grueso del colchón son proporcionales. Considérese esta hipótesis en términos de fibra. El peso de la fibra que pasa durante una hora por el molino es Cf.

Este peso se distribuye en el área del cilindro como:

$$S = 60\pi DnL$$

de donde se obtiene:

$$\frac{Cf}{S} = \frac{CF}{60\pi DnL} = D$$

De ahí:

$$C = \frac{nLD^2}{f}$$

Fórmula en la cual se integró la fibra, la velocidad y las dimensiones del cilindro. Quedan únicamente por incluir dentro del coeficiente  $x'$ , 2 factores fáciles de comprender.

- 1) El equipo de preparación de la Caña.
- 2) La influencia del largo de la batería.

### 2.2.3 Preparación de la Caña

Anteriormente se trató en la sección de cuchillas y la desmenuzadora. En éste momento se designará esta influencia con un coeficiente especial  $C$ , repitiéndose los valores ya dados:

- a) Para 1 juego de cuchillas:  $C = 1.10 - 1.20$  en promedio 1.15
- b) Para 2 juegos de cuchillas:  $C = 1.15 - 1.25$  en promedio 1.20
- c) Para una desmenuzadora Searby:  $C = 1.10$
- d) Para una desmenuzadora Maxwell:  $C = 1.05$

Estos coeficientes no pueden simplificarse multiplicando los unos con los otros. En el caso de unas cuchillas seguidas de una desmenuzadora es reducir a la mitad el excedente en tonelaje que pueda esperarse de la máquina que produzca el aumento más pequeño.

Por ejemplo:

Para 1 juego de cuchillas seguidas de una desmenuzadora Searby:

$$C = 1.15 \times 1.05 = 1.20$$

Para 2 juegos de cuchillas seguidos de una desmenuzadora Maxwell:

$$C = 1.20 \times 1.025 = 1.23$$

#### 2.2.4. Largo del tandem

Es el factor más difícil de evaluar porque actúa indirectamente. Considérese una batería de 11 cilindros; se selecciona porque es la más corta de las usuales y porque su capacidad máxima está bien definida. La capacidad de una batería de este tipo no puede aumentarse sin que la extracción disminuya notablemente. Agreguemos sucesivamente 1, 2, 3 y 4 molinos. Con cada adición se tendrán 2 alternativas:

a) La ganancia que pueda obtenerse en la capacidad con la adición de un molino, conservando la misma extracción.

b) El mejoramiento de la extracción es posible, sin disminuir la capacidad. Si se adopta el método (a) siguiendo la costumbre usual en Cuba, el aumento de capacidad de la batería sería casi proporcional al número de molino N1 o, lo que es lo mismo, casi proporcional al número de compresiones N2 o de cilindros N.

Si al contrario se adopta el método (b), lo que es común en el Hawai, la capacidad debe aumentar muy poco en relación con el número de cilindros que se agreguen.

En la práctica, con la probable excepción de Cuba, nadie se ajusta a estas dos soluciones extremas. Se adopta un compromiso en el cual se busca obtener del nuevo molino un aumento simultáneo de la capacidad y la extracción. Adoptando una actitud razonable que favorezca a la extracción un poco más que a la capacidad, la influencia de la longitud de la batería será proporcional a la Raíz cuadrada de N.

Analizando el gran volumen de datos publicados en Java y tomando el exponente de N como desconocido, los valores verdaderos que se encuentran son definitivamente menores que 1 pero ligeramente mayores que 0.5. La potencia de N que parece cercana al promedio de todas las cifras (aunque un poco más alta) es de 0.67, es decir, Raíz cuadrada de N<sup>2</sup>; éste es un valor bastante difícil de calcular y que no puede ser estrictamente válido más que en Java. Pensamos que el valor más cercano a la verdad se obtiene adoptando Raíz cuadrada de N.

### 2.3 Carga fibrosa

Se ha hablado ya del significado de este término. En este momento se define completamente, y se muestra el interés que representa.

La carga fibrosa es el cociente del peso de la fibra que pasa en un tiempo dado por el molino entre la superficie descrita en el mismo tiempo por la generatriz de uno de sus cilindros. Se expresa en Kilogramos por metro cuadrado (Kg/m<sup>2</sup>)

La carga fibrosa mide la importancia del colchón de cañas o del bagazo que pasa por el molino y las características de su trabajo. Es particularmente útil en el ajuste de los molinos.

### 2.3.1 Carga Especifica

El colchón del bagazo debe ser proporcional al diámetro de los cilindros de manera que la carga fibrosa de un molino grande debe ser normalmente superior a la carga fibrosa de un molino pequeño. Sin embargo, si se considera el cociente:

$$T = q / D$$

donde: T = Carga fibrosa específica en kg/m<sup>2</sup> por m.

q = Carga fibrosa en kg/m<sup>2</sup>.

D = Diámetro de los cilindros en metros.

Y se designa con el término de "carga fibrosa específica" este cociente deber ser independiente de las dimensiones de los cilindros.

La carga fibrosa específica mide el porcentaje al que se trabaja un molino; a una carga fibrosa específica más alta corresponde un colchón de bagazo más grande en relación al diámetro de los cilindros del molino.

### 2.3.2 Valores normales de carga.

Si se expresa el trabajo de un molino en función de la carga fibrosa se tendrá evidentemente:

$$Cf = 60 \times 3.1416 \times D \times n \times L \times q = 188.4 \times q \times n \times L \times D = 188.4 \times T \times n \times L \times D^2.$$

C= trabajo de los molinos en Kg de caña/hr.

f= Fibra de la caña en relación con la unidad.



L= Longitud de los cilindros en metros (m)

D= Diámetro de los cilindros en metros (m)

n= velocidad de los cilindros en rpm.

q= carga fibrosa, en Kg /m<sup>2</sup>.

T = Carga fibrosa específica kg/m<sup>2</sup>/m.

Aproximadamente este valor a la expresión de la capacidad normal de la batería se obtiene:

$$188.4 \times T \times n \times L \times D^2 = 550 \times c \times n \times L \times D^2 \times \sqrt{N}$$

de donde:

$$T = 2.92c \sqrt{N}$$

c= coeficiente de los aparatos de preparación

N= número de cilindros de la batería.

Para la fórmula anterior C puede ser:

1.15 para un juego de cuchillas.

1.25 para dos juegos de cuchillas.

1.26 para una desmenuzadora.

Se ve que, aún tomando valores extremos como 11 y 25 cilindros, la carga fibrosa específica normal variar solo en el 50%.

De una manera general y teniendo en cuenta por un lado a los molinos poco cargados y sin aparatos de preparación y por otro a los molinos de poca velocidad, la carga fibrosa específica variar entre 8 y 25 y más comúnmente 10 y 15 Kg/m<sup>2</sup>/m.

### 2.3.3 Relación de trabajo.

La relación U de trabajo de una batería de molino es la relación entre el tonelaje dado por esta batería y el tonelaje que es capaz teóricamente de moler.

Acaban de calcularse estos dos valores: Tonelaje molido realmente (medido en Kg por hora):

$$Q = 188.4 T n L D^2 \text{ Kg de fibra/hr.}$$

Tonelaje estándar teórico, que la batería debiera moler normalmente:

$$Q_0 = 550 c n L D^2 \sqrt{N}, \text{ Kg de fibra/ hr.}$$

El porcentaje de trabajo es entonces:

$$U = \frac{Q}{Q_0} = 0.34 \frac{T}{c \sqrt{N}}$$

Este porcentaje mide la intensidad del esfuerzo que demanda la batería:

Si:  $U < 1$ , la batería no está cargada

Si:  $U = 1$ , la batería dá un trabajo normal.

Si:  $U > 1$ , La batería está sobrecargada.

En una batería dada,  $c$  y  $N$  están determinadas: la batería tendrá por ejemplo un juego de cuchillas y 15 cilindros, es decir:

$$c\sqrt{N} = 1.15 \sqrt{15} = 4.45$$

de donde:

$$U = \frac{0.34 T}{445} = 0.77 T$$

Entonces, para una batería de composición dada, carga fibrosa específica mide el porcentaje de trabajo.

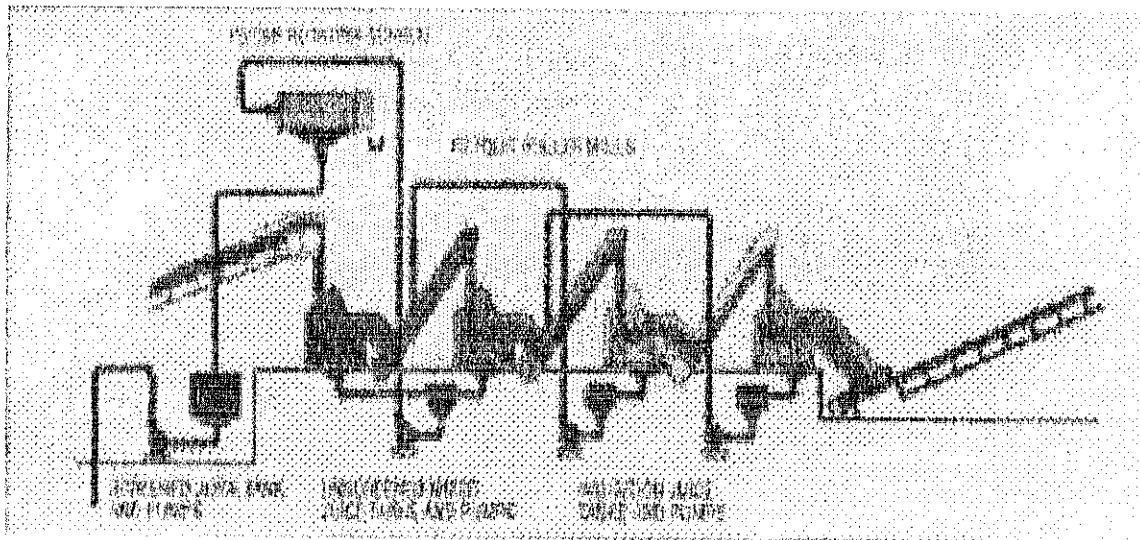


Figura 19 Batería de molinos

### 3. AJUSTE DE LOS MOLINOS

El ajuste de los molinos consiste en determinar las posiciones relativas más favorables que deben darse a los 3 cilindros y a la cuchilla central con el fin de obtener las mejores condiciones para la alimentación y los mejores resultados en la extracción.

Cada molino posee dispositivos que permiten variar la posición en reposo de cada uno de los 2 cilindros inferiores con relación al cilindro superior. Las posiciones relativas en reposo determinan las posiciones relativas trabajando, cuando el cilindro superior se levanta contra la presión hidráulica por el empuje del bagazo.

El ajuste es una operación delicada e importante. Es indispensable un buen ajuste para obtener el funcionamiento correcto del molino, es decir, una marcha regular sin atascamientos y con una extracción conveniente.

El ajuste comprende 2 operaciones principales:

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

#### 3.1 *Definición:*

El cilindro de entrada es un órgano de alimentación; y el cilindro de salida es de presión. La abertura de entrada debe evidentemente ser más grande que la abertura de

salida: si se les da el mismo valor, el paso de la caña por el molino puede ser muy pequeño para la entrada (aberturas pequeñas), o presión muy mala (aberturas grandes).

Inversamente, si la abertura de entrada fuera muy grande, el bagazo llegaría al cilindro de salida demasiado húmedo y se atascaría o se trabajaría mal en la salida.

Existe entonces, bajo ciertas condiciones dadas, una relación óptima entre las 2 aberturas. El problema consiste en determinar esta relación. Este problema no tiene una solución matemática sencilla; el ajuste es en realidad un arte basado en comprobaciones empíricas ajustadas por la experiencia. Sin embargo si se desea llegar a una solución lógica y conveniente, son necesarios algunos cálculos. Debe siempre calcularse primero la abertura trasera; con el valor de ella se calcula seguida la abertura de entrada.

### 3.1.1 Medidas de las aberturas

Las aberturas se miden por la distancia entre los diámetros medios de los 2 cilindros considerados. Cuando las ranuras son iguales en los 2 cilindros la medida es fácil: la abertura es la distancia entre 2 puntos cualesquiera de la superficie de los 2 cilindros situados en su plano axial común y en el mismo plano perpendicular a los 2 ejes.

Cuando las ranuras son diferentes debe tenerse cuidado en medir precisamente los diámetros medios, que están representados en cada cilindro por la medida entre el diámetro en la punta de los dientes y el diámetro en el fondo de las ranuras.

Cuando las ranuras son complejas debe calcularse el diámetro medio, que es la línea recta que sobre un corte longitudinal del cilindro intercepta igual cantidad de áreas llenas y vacías. Dicho de otra manera, el diámetro medio en este caso, es el diámetro de un cilindro geométrico que tenga la misma longitud y el mismo volumen que el cilindro del molino que se considera. Al determinar el diámetro medio por medio de cálculos o de dibujos, no deben considerarse las messchaert.

### **3.1.2 Método de Java**

Hasta la fecha el procedimiento clásico para determinar el ajuste es el de la Estación Experimental de Java. Para aplicar este procedimiento se siguen los pasos siguientes:

1. Determinación de la velocidad de los molinos.
2. Determinación de la abertura trasera.
3. Determinación de la abertura delantera.

### **3.2 *Ajuste entrada y salida***

Existen varios métodos para calcular los ajustes entre las mazas y la altura de la cuchilla central en los molinos del tandem. Todos los métodos prácticos tienen presente el volumen unitario de salida en cada molino.

El volumen unitario está afectado por el índice o grado de preparación de la caña. A mayor preparación de la caña, mayor densidad y por lo tanto, menor volumen unitario. Al pasar la caña de un molino a otro muele la fibra, aumenta la densidad bajo compresión y baja el volumen unitario. Por esto, los molinos se cierran en forma progresiva desde el primero al último.

La tabla adjunta muestra los volúmenes unitarios de salida en pies cúbicos por tonelada corta de fibra. La misma considera el grado de preparación de la caña y el tamaño del tandem (número de molinos). En la misma hoja se presenta la relación de volumen entre la entrada y la salida de los molinos cuando el molino está en operación, flotando la maza superior.

	Desmenu- zadora	1er. M.	2do. M.	3er. M.	4to. M.	5to. M
Batería de 18 cilindros	30	40	45	48	51	52

Tabla No. 2 Densidad de la caña .

Conociendo el comportamiento del bagazo a través del tandem y los volúmenes unitarios de cada molino, según el número de molinos instalados y el grado de preparación, podemos calcular los ajustes necesarios de salidas en los molinos del tandem.

### 3.2.1 Ajuste de salida

El volumen unitario de la tabla y las toneladas de fibra que se muelen determinan el volumen de trabajo necesario en la salida de los molinos. Conociendo este volumen, así como la longitud de mazas y la velocidad lineal de los molinos se determinan las aberturas de salida, entre la superior y la bagacera de cada molino, cuando está en operación el tandem.

$$VT = a LN / 12$$

En donde:

VT = VI por Toneladas fibra / minuto, CFM.

a = Abertura trabajando, en pulgadas.

L = Longitud de mazas, en pies.

N = Velocidad lineal, en p.p.m.

Para los ajustes de salida en los molinos hay que tener presente lo que abre al flotar la maza superior, según el diseño de las vírgenes: rectas o inclinadas.

Ejemplo: un ingenio tiene 5 molinos tamaño 36" X 78" y muele 75 pies por minuto, cuál es su capacidad nominal cuando la preparación de la caña es grado 2?, cuál es el pol en bagazo moliendo caña de 15% de fibra con 12.7 de pol, si aplicamos el 30% de imbibición.



$$\text{Cof} = 18 \times C \times N \times L \times D \times \sqrt{M} \times (1 - 0.0057 N)$$

$$\text{Cof} = 18 \times 1.25 \times 55 \times 6.5 \times 3 \times \sqrt{15} = 29.10 \text{ toneladas}$$

En caña con 15 % de fibra representa 194 toneladas métricas por hora.

En el ejemplo que vimos anteriormente, ver cual es la abertura de salida en el primer molino, moliendo 194 tons/hora.

a) Según la tabla adjunta, cinco molinos y grado de preparación 2, tiene un volumen unitario V1 de 72 pies<sup>3</sup>/ton. de fibra.

b) El volumen de trabajo de salida es VT

$$\text{VT} = 72 \times 194/60 \times 2204/2000 \times 15/100$$

$$= 38.48 \text{ pies } 3/\text{min de fibra.}$$

c) Usando la fórmula tenemos:

$$a = (\text{VT} \times 12) / \text{LN} = (38.48 \times 12) / (6.5 \times 55) = 1.292''$$

Para el ajuste en reposo, hay que restar lo que cierra la superior al bajar a su posición de reposo. No es la flotación directamente, si no depende de la triangulación del molino: diámetros de mazas y distancia vertical entre las mazas superior e inferior.

Al instalar los molinos, la línea de centro del eje de baja de la catarina se instala 1/2" más alto que el centro de la maza superior. Esta diferencia en altura depende del tamaño de los molinos y cuánto se desea que la maza superior flote en operación.

Por facilidad y para no hacer muchos cálculos para cada molino del tandem, todos los años se usan valores fijos para cada tipo de virgen. En el ejemplo, las vírgenes son rectas, la flotación es 3/8" y lo que abre al flotar es 0.298". Por lo tanto, el ajuste o setting de salida del primer molino es  $1.292 - 0.298 = 0.994$  "

### 3.2.2. Ajuste de entrada

Las entradas de los molinos se determinan por una relación de volumen de trabajo en operación, entrada/salida. En la tabla No. 3 se muestra una lista de relaciones que empiezan con 2.0 en el primer molino, aumentan progresivamente y pueden llegar hasta 3.0 en el último molino del tandem.

Relación de volúmenes en operación  
(Entrada / Salida)

Tandem	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8
3 Molinos	2.00	2.30	2.50	--	--	--	--	--
4 Molinos	2.00	2.30	2.45	2.60	--	--	--	--
5 Molinos	2.00	2.30	2.45	2.60	2.75	--	--	--
6 Molinos	2.00	2.30	2.45	2.60	2.75	2.85	--	--
7 Molinos	2.00	2.30	2.45	2.60	2.75	2.85	2.95	--
8 Molinos	2.00	2.30	2.45	2.60	2.75	2.85	2.95	3.00

Tabla No.3 Relación de abertura.

Entre más baja se pueda usar esta relación, mejor se muele. La misma depende del rayado, agarre de las mazas, velocidades, % de imbibición, drenaje de las mazas cañeras, tipo y calidad de fibra, alimentación y toneladas a moler por tamaño de mazas.

En el ejemplo visto, para un primer molino, usamos una relación de 2.00. En el molino, con el mismo largo y R.P.M. en las mazas, los volúmenes en operación de entrada y salida son directamente proporcionales. Como la abertura de salida florando fue de 1.292", la de entrada es  $1.292" \times 2.0 = 2.584"$ , por lo tanto, el ajuste o setting de entrada es,  $2.584 - 0.298 = 2.286" = 2 \frac{9}{32}"$ .

Los otros molinos calculan de la misma forma, con los volúmenes unitarios de salida que les corresponda, atendiendo al grado de preparación y número de molino en el tandem. Este es el procedimiento y cálculos matemáticos que se usan para determinar los ajustes de entrada y salida del Tandem.

Para rapidéz, precisión y eliminar errores, estos cálculos se pueden desarrollar en computadoras, junto con otros datos de información necesaria en los ajustes de mazas, cuchillas centrales, calzos debajo de las chumaceras inferiores, distancias entre mazas y otros.

**3.2.3 Capacidad del tandem, ajustes y presiones en los molinos.**

Tamaño Tandem M-8	Grado Prepar.	MOLINOS DEL TANDEM							
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	
Tres	1	80	60	42					
	2	72	55	40					
	3	65	50	38					
Cuatro	1	80	62	50	40				
	2	72	54	43	38				
	3	65	54	41	37				
Cinco	1	80	63	53	43	39			
	2	72	56	45	41	37			
	3	65	54	43	38	36			
Seis	1	80	64	55	44	39	38		
	2	72	57	47	40	37	36		
	3	65	55	44	38	36	35		
Siete	1	80	65	56	45	40	38	37	
	2	72	58	48	42	38	37	36	
	3	65	56	45	39	37	36	35	
Ocho	1	80	66	57	46	40	39	38	37
	2	72	59	49	43	39	38	37	36
	3	65	57	46	40	38	37	36	35

Tabla No.4 Capacidad del Tandem.

**3.2.4 Triangulación vírgenes verticales.**

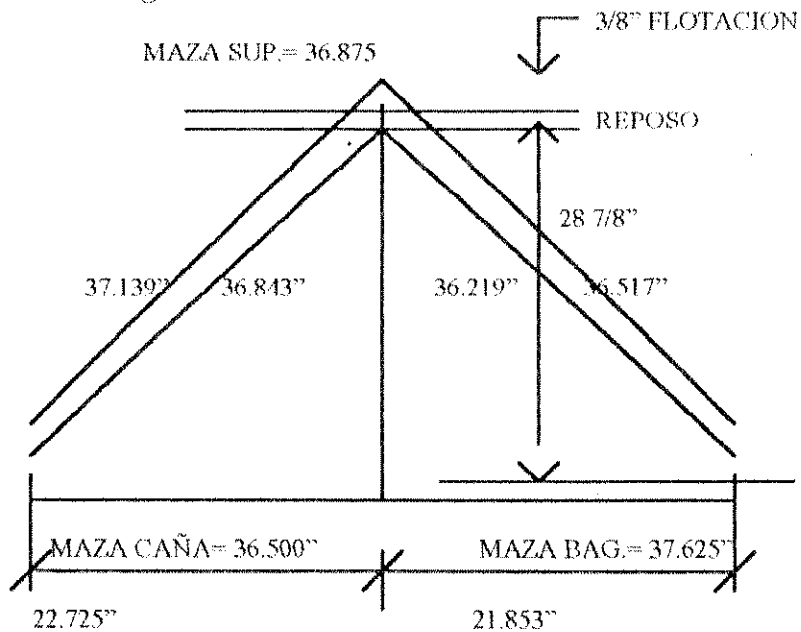


Figura No. 20 Triangulación Vírgenes Verticales.

### 3.2.5 Triangulación virgenes inclinadas.

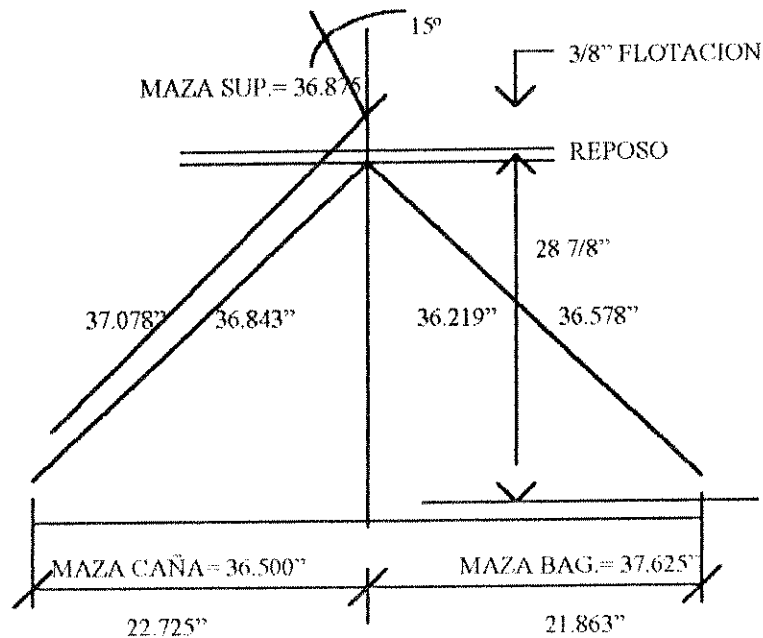


Figura No. 21 Triangulación virgenes inclinadas.

### 3.2.6 Ajuste de molinos zafra 1996-97

#### ZAFRA (1996-97)

##### TRANSMISIONES

	MOL. #1	MOL. #2	MOL. #3	MOL. #4	MOL. #5	MOL. #6	MOL. #7
REV. P.M. TURBINA	4200.0	4000.0	4200.0	3600.0	4200.0	4300.0	3800.0
RATIO TOTAL DE ENGRANAJES	691.107	564.599	600.870	449.760	625.750	656.480	568.150
REV. P.M. MOLINO	6.077	7.085	6.990	8.004	6.712	6.550	6.688
VELOC. DEL MOLINO PPM	64.966	66.462	61.722	74.740	64.430	63.805	65.517
AJUSTES:							
AJUSTE CUARTA MAZA	9.79688	8.93750	8.21563	5.70938	5.90625	5.90625	5.59375
AJUSTE MAZA CAÑERA	2.81250	2.87500	2.43750	1.90625	1.81250	1.81250	1.68750
AJUSTE MAZA BAGACERA	1.40625	1.25000	1.09375	0.98750	0.78125	0.78125	0.71875
ENTRADA CUCHILLA 4ta. MAZA	10.04688	8.18750	8.46563	5.95938	6.15625	6.15625	5.84375
ENTRADA CUCHILLA	3.06250	3.12500	2.68750	2.15630	2.06250	2.06250	1.93750
SALIDA CUCHILLA	4.09375	4.03125	3.59385	3.25000	3.28125	3.40625	3.28125
CALZO 4ta. MAZA	0.00000	0.00000	1.25000	0.00000	0.75000	1.50000	0.00000
CALZO MAZA CAÑERA	0.75000	0.00000	0.81250	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
CALZO MAZA BAGACERA	1.50000	0.87500	1.68750	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Tabla No.5 Ajuste de Molinos.

### 3.3 Ajuste cuchilla central

Para las cuchillas centrales, al igual que en los ajustes de mazas, existen varios métodos para determinar su altura y el trazado, unos hablan de un volumen de entrada igual a la del molino otros de un 40% a 50% mayor, otros 2 a 3 veces mayor. En algunos casos, menor entrada en la cuchilla que la del molino.

Una cuchilla muy alta ocasiona presiones excesivas y dificulta la alimentación del molino. Una cuchilla muy baja como usar 2 o más veces el volumen de entrada del molino puede ocasionar rollos en el colchón entre la maza superior y la cuchilla. Ambos extremos crean ruidos y vibraciones, afectando el trabajo y la extracción del molino.

En la práctica, nunca hay que dar a la entrada de la cuchilla un setting menor que el de la entrada del molino. Así, no se tiene ningún punto en la cuchilla central con más presión que la existente entre la punta del rayado superior y el fondo del rayado de la maza cañera.

En los molinos con menor ajuste de entrada que el rayado de las mazas, damos a la cuchilla el mismo ajuste de entrada del molino. Cuando el ajuste de entrada del molino coincide aproximadamente con el rayado de las mazas, para la cuchilla se le suma  $\frac{1}{4}$ " al ajuste de entrada del molino. Cuando la entrada del molino es mayor que el rayado de las mazas, se le suma  $\frac{1}{2}$ " al ajuste de entrada.

Con estas normas siempre se asegura instalar las cuchillas con un 50 a 75% de volumen adicional sobre el de entrada del molino. Se asegura no instalar las cuchillas centrales muy altas ni bajas con sus efectos negativos.

### 3.3.1 Método U. Villar

A continuación presento el método racional "U Villar" para el desarrollo de la cuchilla central como se puede observar en la figura 20, el ajuste de salida sale por construcción, de la siguiente forma:

- a) Sobre la horizontal y línea de centro de la maza superior, a la derecha se carga el punto A, igual a 0.10 el radio nominal de las mazas superiores del tandem.
- b) Sobre la horizontal y línea de centro de la maza cañera, a la izquierda de la punta del diente, se marca el punto B, igual a 0.25 el radio nominal de las mazas cañeras.
- c) Se traza una recta por los puntos A y B. Sobre esta recta y desde la punta de la maza superior, se marca la altura E de la cuchilla, o sea, el ajuste o setting de entrada de la cuchilla.
- d) Haciendo centro en A se traza un arco desde E hasta la maza bagacera y se mide la salida S de la cuchilla central. Con centro en B se traza otro arco desde E hasta el fondo del rayado de la maza cañera.
- e) Se le da un grueso a la cuchilla que oscila entre 2" y 3" según el tamaño del molino y el de la propia cuchilla. Se dibuja el asiento según el diseño del puente.
- f) El frente se corta por la tangente al fondo del rayado de la maza cañera y perpendicular al radio que pasa 1" debajo de la punta de la cuchilla.

### 3.3.2 Trazado de la cuchilla central

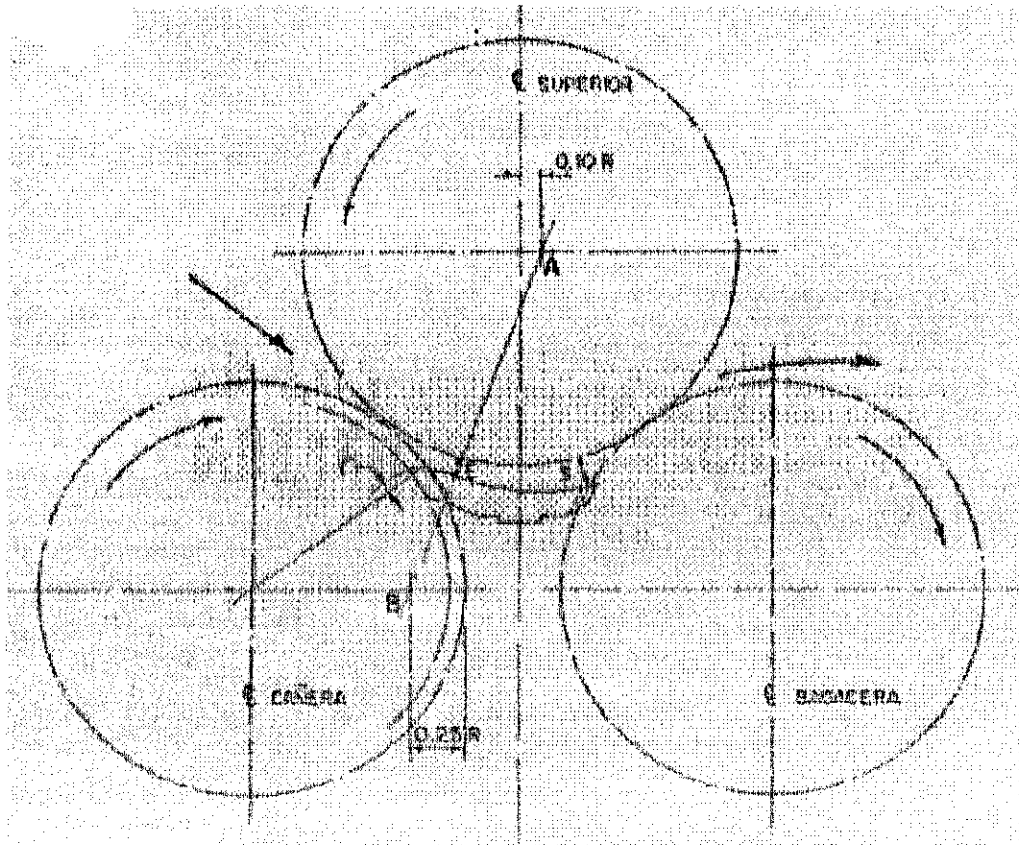


Figura 22 Trazo cuchilla central

### 3.3.3 Ajustes

Generalmente los molinos modernos no permiten un ajuste fácil de las dimensiones A, M y Z como era en los antiguos. Una vez que las posiciones relativas de los tres cilindros se fijan en la posición considerada mejor, es posible en general, alterar el ajuste de la cuchilla únicamente en dos direcciones: vertical y horizontalmente, es decir, sólo puede moverse paralelamente así misma hacia arriba y



hacia abajo o hacia atrás y adelante. En los molinos muy modernos esta libertad de acción se reduce porque la cuchilla está montada en un eje que a su vez está montado en un excéntrico.

Sólo pueden levantarse o bajarse haciendo girar al excéntrico para que pivotee sobre este eje y quede en contacto con el cilindro de alimentación. Debe reconocerse que estos molinos funcionan también como los otros, y que jamás causan ningún problema por las limitaciones impuestas a los ajustes, los que además son más fáciles, más rápidos y más prácticos.

#### **3.3.4 Consideraciones importantes**

Ciertas costumbres tienen la tendencia a colocar la cuchilla en una posición más bien alta, otros prefieren colocarla baja.

Una cuchilla muy alta absorbe una fracción considerable de la presión hidráulica en detrimento de la extracción y aumenta el consumo de potencia del molino desgastándolo muy rápidamente. En estas circunstancias el molino se atasca con cargas fibrosas pequeñas y disminuye en consecuencia su capacidad.

Una cuchilla muy baja origina en el cilindro de salida un ángulo de toma muy elevado que hace difícil la toma, y que aumenta en consecuencia los riesgos de atascamiento. Por otro lado y en estas condiciones el bagazo tiende a formar un rollo, al arrastrar el cilindro superior, la parte alta del colchón de bagazo mientras que la parte inferior de este roza la cuchilla. Este efecto origina atascamientos, vibraciones y compresiones malas en la salida. Para evitar que los pequeños pedazos de bagazo caigan por partes, debe adoptarse un ajuste más cerrado en la distancia T entre el talón y el cilindro de salida.

Comparando las dos series de inconvenientes de las cuchillas ajustadas muy altas y muy bajas, se encuentra que es mejor elegir el primer ajuste.

### 3.3.5 Ruidos anormales

Un molino “ronca” cuando la punta de la cuchilla esta colocada en posición muy baja con relación al cilindro de entrada ( ángulo B de la fig. 22 muy grande).

Se forma entonces en B (fig. 23) una bolsa de la cuál sale difícilmente el bagazo comprimido, lo que produce una vibración y un ronquido característicos.

Este ruido no comprueba, contrariamente a una idea general, ni el ajuste ni el buen funcionamiento del molino.

Un molino “gruñe” y, sobre todo, vibra cuando la cuchilla esta en posición muy baja, lo que provoca la formación de un rollo de bagazo sobre ella misma.

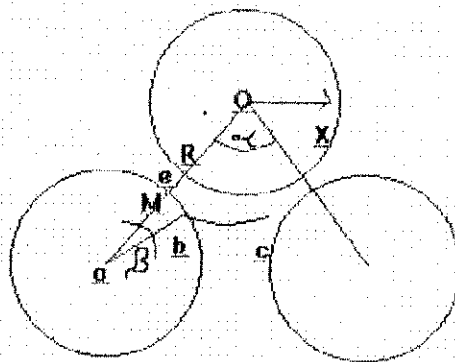


Figura 23 Ubicación cuchilla

### 3.3.6 Salpicaduras

El molino "escupe" cuando el ajuste es muy estrecho entre el cilindro de salida y la cuchilla (distancia T muy pequeña). El jugo, no encontrando salida, permanece dentro de las bolsas que forma el bagazo y es expulsado violentamente por el lado libre en el momento en que se despeja el espacio mínimo formando por la abertura de salida. En estas condiciones la extracción sufre mucho.

### 3.3.7 Atascamiento

Algunos atascamientos se deben al fenómeno siguiente: el cilindro de entrada desgasta los cojinetes en la parte trasera. Al establecerse la presión el colchón de bagazo empuja al cilindro a la concavidad así formada, cuya profundidad puede llegar a 1 o 2 mm; en este momento el cilindro se separa de la cuchilla central pero el bagazo permanece enganchado a la punta de ella e impide el paso.

Inversamente, si la cuchilla se ajusta muy próxima al cilindro, este que algunas veces gira vacío, se apoya fuertemente sobre ella y la desgasta con rapidez. Los síntomas en este caso son los siguientes:

- a) El desgaste rápido de la cuchilla.
- b) Un ligero desplazamiento del cilindro de entrada hacia atrás, cuando el bagazo llega al molino.

### **3.3.8 Desprendimiento de guarda jugos.**

Cuando la cuchilla esta muy baja ocurre, a veces, que la presión se dirige hacia los guarda jugos del cilindro superior y los arranca al tensar los tornillos que los fijan. El desprendimiento de los guarda jugos es, entonces, la señal de un ajuste bajo en la cuchilla.

### **3.3.9 Desgaste y acanaladuras en la cuchilla**

La superficie de la cuchilla no se desgasta uniformemente, generalmente se le forman canales que corresponden, en la punta de la cuchilla, a las ranuras del cilindro de entrada pero que divergen del centro a las extremidades en el sentido de la marcha del bagazo.

Esta divergencia se debe a que la carga de bagazo en los molinos es siempre más fuerte en el centro que en las extremidades de los cilindros. Cuando el bagazo es comprimido y estrechamente canalizado por las ranuras de los cilindros de entrada, desemboca en la cuchilla y tiende a repartirse uniformemente distribuido, dirigiéndose hacia centro a las extremidades.

Por la misma causa se provoca un desgaste más fuerte en el centro de los cilindros que en las extremidades: este desgaste se comprueba fácilmente colocando una regla sobre los cilindros al fin de la zafra. Cuando los cilindros de entrada y superior están desgastados en esta forma el colchón de bagazo se hace más grueso en el centro y el desgaste en forma de canales se acentúan en la cuchilla.

Contribuye también a esta sobrecarga el pachaquil, que regresa a los conductores intermedios el bagazo del separador y lo deja caer más bien al centro que en los bordes.

Finalmente la fricción de los bordes del conductor y la obstrucción de las porciones exteriores del bagazo por las guías de las cadenas, regresa a éste al centro.

Todas estas razones tienden a disminuir el colchón de bagazo en los bordes produciendo lo que se llama "efecto de orilla"; la caña que llega a los molinos por los bordes del conductor se comprime menos y sale algunas veces del primer molino apenas aplastada y aún reconocible.

Para evitar el esfuerzo de desprendimiento en los guarda-jugos originado por el movimiento divergente del bagazo sobre la cuchilla, ciertos constructores fabrican estas, con un ranurado ligero que corresponde a las ranuras del cilindro de entrada, a la misma distancia que están paralelas entre sí.

Este ranurado tiene el inconveniente de mantener en el cilindro de salida una mala distribución transversal del bagazo del cilindro de entrada, distribución que las cuchillas lisas corrigen en parte. Este ranurado pueden sin embargo, ser convenientes algunas veces cuando la importancia de las ranuras divergentes produce dificultades en la alimentación del cilindro de salida.

### **3.3.10 Cuchillas de acero inoxidable**

En Sudáfrica se han ensayado cuchillas de acero inoxidable: al desgastarse se pulen como espejos y se desgastan poco. La fricción del bagazo es muy pequeña y la potencia absorbida por esta fricción disminuye proporcionalmente. Son más caras que las cuchillas ordinarias, pero dos o tres veces más. Se cambian menos frecuentemente y en esto estriba la principal ventaja que presentan.

Munson (TSJ, abril, 1955 ) determina, después de diversos experimentos, que el coeficiente de fricción es independiente de la naturaleza del metal.

#### 4. ANÁLISIS DE LABORATORIO EN MOLINOS

El conocimiento de la composición del jugo y la comprensión de sus propiedades químicas y de las reacciones de sus componentes son esenciales para el control y mejoramiento efectivo de los procesos de extracción del azúcar de caña. El cálculo de los porcentajes de los diversos componentes del guarapo, basado en los análisis clásicos, el guarapo de caña ha tenido gran importancia en el logro del estado actual de estos procesos. Varios investigadores lograron resultados notables con los métodos de que disponían en su época, pero la complejidad de la materia orgánica que acompaña al azúcar en el guarapo no ha sido revelada más que por las técnicas analíticas modernas, especialmente mediante la cromatografía.

La composición del jugo que se extrae durante la molienda, constituye la verdadera materia prima para producir azúcar en la fábrica. Los jugos contienen aproximadamente los mismos constituyentes, pero en proporciones variables. En la tabla No.6 indico los límites dentro de los cuales varían los porcentajes de las principales clases de sustancias en guarapos de diferentes cualidades extraídos de cañas comerciales.

Los siguientes intervalos se encuentran los principales componentes de los sólidos extraídos del jugo de caña.

Componentes	Porcentajes
Agua	73-76
Sólidos	24-27
Fibra (seca)	11-16
Sólidos Solubles	10-16

Componentes del guarapo.

Porcentaje de sólidos solubles.

Azúcares	75-92
Sacarosa	78-88
Glucosa	2-4
Fructuosa	2-4
Sales	3-7.5

Tabla No. 6 Composición de la caña.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

<b>Componentes del Guarapo</b>	<b>Porcentaje</b>
De ácidos inorgánicos	1.5-4.5
De ácidos orgánicos	1.0-3.0
Ácidos Inorgánicos libres	0.5-2.5
Ácidos carboxílicos	0.1-0.5
Aminoácidos	0.5-2.0
<b>Otros no-azúcares orgánicos</b>	<b>Porcentaje</b>
Proteínas	0.5-0.6
Almidón	0.001-0.050
Gomas	0.3-0.60
Cera, grasas fosfátidos	0.05-0.15
No-azúcares no identificados	3-5

Tabla No. 6 Composición de la caña.



#### 4.1 Alimentación de caña

Antes, cuando toda la caña se entregaba verde, se almacenaba caña en los patios de los ingenios para la molienda de la noche. Ahora casi la totalidad de la caña se quema y ésta se deteriora muy rápido una vez quemada y cortada. El deterioro se acelera más cuando se almacena en los patios de caña, en el campo es más que en los ingenios cuando se almacena a granel en grandes pilas.

Actualmente se entrega día y noche directo a las mesas alimentadoras. En los casos donde acostumbran almacenar en los patios del Ingenio para 2 a 3 horas de molienda, lo hacen almacenando la caña verde. En la mañana, los patios deben amanecer limpios.

Los sistemas de corte y de carga en los campos de caña y el del transporte a los Ingenios han estado y están en continuos cambios. Sobre todo ahora cuando el costo del corte ha subido tanto en precio y en demanda, lo que hace dicha mano de obra escasa y sobre todo en días festivos. De igual forma también, la recibida de caña en los ingenios sufren cambios y se van adaptando a las nuevas condiciones particulares de la industria en diferentes países, nosotros transportamos la caña en camiones de 5.0 a 40.0 Toneladas, las cuales descargan a las mesas alimentadoras situadas perpendicular al conductor de caña.

Las mesas alimentadoras usan cadenas individuales del tipo arrastre e hileras individuales de dos cadenas con tablillas. Para facilitar remover la tierra y piedras que trae la caña ahora se instalan dos mesas en serie. Estas tienen tamaño: 20'-0" a 24'-0" ancho x 25'-0" a 30'-0" de longitud.

Para facilitar la preparación de caña dos o más conductores deben ser instalados. Dos conductores generalmente se instalan sobre la misma línea de centro del tandem de molinos. En instalaciones de tres conductores, el No.1 debe ser instalado perpendicular al tandem alimentadoras conductor No.2 cerca del eje de cola.

Para facilitar la alimentación de caña a una Desfibradora o al 1er. Molino, uno o más de estos conductos requieren tener una sección inclinada. la longitud de cualquier conductor de caña nunca mayor a 120 pies entre centros ejes motriz y de cola - con la sección horizontal no mayor al 50 % de la longitud total.

La pendiente de la sección inclinada varía desde 15 grados (27%), hasta 21 grados (38%) - siendo standard usar 17 grados (30%). Los conductores que se instalan sobre la línea centro del tandem llevan de ancho la longitud de las mazas.

El No. 1 perpendicular al tandem generalmente se instala 24" más ancho. Los conductores requieren control de velocidad variable. Hacer los arreglos en el movimiento para conseguir la velocidad lineal del tandem, cuando la unidad está a plena velocidad. Ajustar la altura del nivelador para operar con el conductor a 2/3 de su velocidad.

La capacidad del conductor de caña está relacionada y dada por esta fórmula:

$$A = 60 n L h d$$

----- = Tons. corta. hora

2240

n= Velocidad, p.p.m

h= Altura colchón, pies

L= Ancho cond., pies

d= Densidad colchón, Lbs/pie cúbico.

Los conductores requieren potencia para mover el conductor (cadenas y tablillas). peso y pérdida de fricción.

Además, potencia para transportar y elevar la caña.

$$(Q + k) f + K X f$$

$$1. Pf = \frac{\text{-----}}{60 \times 550} \times n \times e = \text{Potencia para vencer la fricción.}$$

Q= Peso de la caña, #s. K= Peso 50% del conductor

f= Coef. fricción sección superior 0.30

f= Coef. fricción sección inferior 0.15

n= Velocidad cond. p.p.m.

e= Eficiencia movimiento = 1.4

$$2240 \text{ AII}$$

$$2.- Pe = \frac{\text{-----}}{3600 \times 550} \text{ potencia para elevar la caña}$$

A= Razón de molida, tons. cortas. hora

H= Diferencia altura centros Ejes Motriz y de cola.

#### 4.1.1 Preparación de la Caña

La preparación de la caña se hace de varias maneras diferentes:

- 1.- Mediante cuchillas giratorias que cortan la caña en astillas, sin extraer jugo.
- 2.- En desfibradoras que rasgan la caña en tiras, sin extraer jugo.
- 3.- por medio de desmenuzadoras que quiebran y oprimen la estructura de la caña y extraen una gran parte del jugo.
- 4.- por combinaciones de cualesquiera o todos los métodos anteriores.

##### 4.1.1.1 Cuchillas giratorias

El uso general de las cuchillas giratorias comenzó en Hawai alrededor de 1920, pero hoy en día son equipo normal en la mayoría de las grandes plantas de moler en todo el mundo. Es bastante corriente el uso de dos juegos de cuchillas, el primero con las hojas situadas a espacios de 2" (50.8 mm) en el eje, y el segundo con las hojas a  $\frac{3}{4}$  de pulgada (19 mm) de separación. Todas las cuchillas giran en el mismo sentido en que viaja la caña.

Las primeras instalaciones giraban a velocidades bastante reducidas, pero la tendencia actual es hacia velocidades de 450 a 650 rpm., o mayores. Hay varios diseños de cuchillas que han sido desarrollados con el curso de los años y facilitan la sustitución y el afilado de las cuchillas y reducen las fracturas de hojas, hojas oscilantes. Cuando se utilizan cuchillas, hay que eliminar las tablillas de madera de los conductores de caña, y sustituirlas con tablillas de acero traslapadas, para evitar la pérdida de caña. Generalmente, los juegos de cuchillas son suplementarios de la desfibradora o desmenuzadora del equipo de

molienda. Permiten una alimentación de caña más pareja, aumentan la capacidad del tandem y logran mayor efectividad del agua de maceración, y el resultado de esto es un aumento en la extracción de sacarosa.

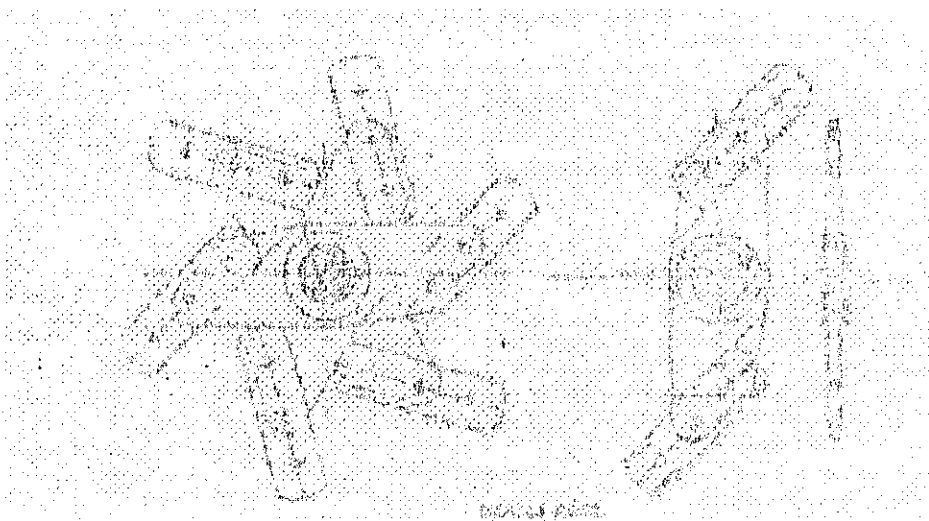


Figura 24 Cuchilla giratoria

#### 4.1.1.2 Desmenzadoras

En general, las desmenzadoras son de dos rodillos y, ocasionalmente son de tres. Las cuchillas giratorias son suplementarias a las desmenzadoras. Todos los rodillos de desmenzadoras tienen dos tipos de rayado: el tipo Krajewski, con ranuras en zigzag o chevron en sentido longitudinal; o el tipo Fulton, con dientes cortantes en forma de V dispuestos en forma circular o radial, con separaciones de 2 a 3 pulgadas (50.8 a 76.4 mm) entre puntas de las V adyacentes. (A esta separación se le llama paso.) La ranuración tipo Krajewski tiende a estorbar el drenaje libre del jugo, y ha sufrido modificaciones:

1) a la misma forma de chevrón, pero puesto vertical, 2) haciendo cortes en las ranuras de chevrón a intervalos, para formar rombos, y 3) mediante la añadidura de ranuras Messchaert para dar facilidad al flujo del jugo, en Cuba se utilizaron desmenuzadoras dobles antes que se diseminara el uso de cuchillas giratorias, y hubo casos de instalaciones de desmenuzadoras triples. Las desmenuzadoras de tres rodillos son en realidad, molinos de tres rodillos con ranuras profundas en forma de V. Una desmenuzadora de tres rodillos precedida de cuchillas cañeras puede extraer el 75% del jugo de la caña, en comparación con el 40 a 50 % que extrae una desmenuzadora sola, y 65 % que extrae una doble desmenuzadora. Estas cifras han sido confirmadas por cálculos hechos en la actualidad.

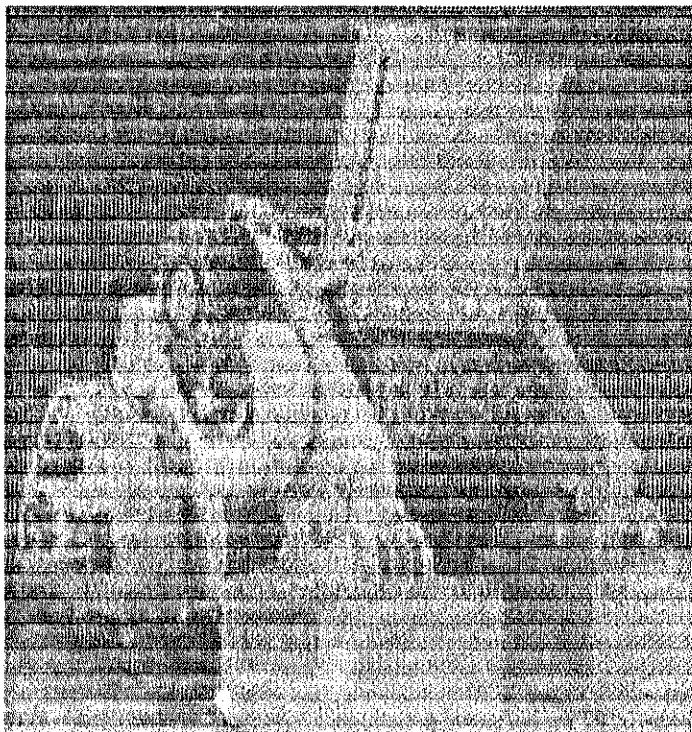


Figura 25 Desmenuzadora

#### 4.1.1.3 Desfibradoras

Según implica su nombre, la desfibradora rasga las astillas de caña y las convierte en tiras, sin extracción alguna de jugo. El primer modelo es una máquina del tipo de discos que ha desaparecido casi totalmente. Las desfibradoras más recientes son del tipo de martillos oscilantes. El procedimiento hawaiano es situar la desfibradora después de la desmenuzadora; en la mayoría de los demás países se sitúa antes de la desmenuzadora. La desfibradora no acepta tallos enteros de caña, pero en trenes de molienda donde la caña ha sido bien picada en trozos para las cuchillas, la desfibradora puede sustituir la desmenuzadora. A pesar de que la caña desfibrada parece mullida y esponjosa, tiene una densidad en relación a su volumen que es un 40% mayor que la de la caña suelta y entera, debido a la ausencia de espacios vacíos; así, permite una alimentación de los molinos más uniforme, asegura la obtención de un aumento de capacidad y de extracción de sacarosa, y logra que se pierda menos sacarosa en el bagazo. Las desfibradoras suelen estar movidas por motores eléctricos acoplados directamente.

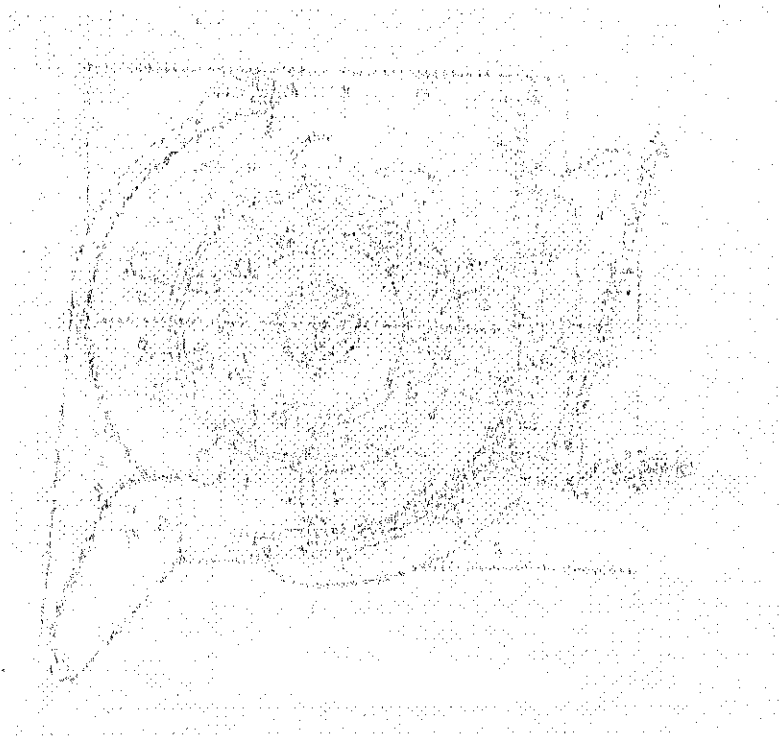


Figura 26 Desfibradora

#### 4.1.1.4 Combinación de equipos

Qué combinaciones deben hacerse entre estas diversas máquinas para obtener un mejor trabajo y un mejor resultado financiero?. Por principio debe instalarse un juego de cuchillas para poder hacer trabajar a los molinos a su máxima capacidad.

La desmenuzadora es igualmente necesaria ( a menos que sea reemplazada por una desfibradora a la cabeza de la batería) y ya se ha señalado la preferencia por la desmenuzadora de 3 cilindros.

El incremento en capacidad y en extracción obtenido por una desfibradora no debe menospreciarse: la instalación de un tercer aparato para preparar la caña. Si se va a instalar una nueva batería debe preverse el lugar para una desfibradora Searby que hará posible obtener una extracción alta.

Si, por alguna razón, no puede instalarse una Searby, deberá hacerse lo posible por instalar una Maxwell que mejorará sensiblemente la extracción. Con 3 máquinas (2 si la desfibradora está en primer lugar), una batería de 14 o 15 cilindros debería ser suficiente para obtener una extracción muy alta.

#### 4.2 Corrida en molinos

Este es uno de los análisis mas minuciosos que se le hace a un molino de un Ingenio Azucarero y es también el instrumento por el cual podemos conocer la operación buena o mala de cada molino en cada parámetro importante y por consiguiente conocer la extracción de cada molino y del tandem en conjunto.

A continuación presento las seis corridas con sus resultados individuales:



4.2.1 Corrida No.1

Resultados curva de molinos, Ingenio Santa Ana Zafra 1996-97.

Día Miércoles 11 - 12 - 96 14:30 horas.

MOLINO:	1	2	3	4	6	7
Hum. Bag.	59.7	55.4	59.6	57.6	52	48.5
Pol Bag.	8.51	7.24	7.45	5.97	4.88	3.06
Brix. Bagacera	16.59	13.34	10.46	9.51	6.29	5.34
Pol Bagacera	14.42	11.26	8.58	7.78	5.05	4.27
Pza. Bagacera	86.92	84.41	82.03	81.81	80.29	79.96
Brix Bagazo	9.79	8.58	9.08	7.30	6.08	3.83
Fibra Bagazo	30.51	36.02	31.32	35.10	41.92	47.67
Bagazo caña	42.48	35.98	41.38	36.92	30.91	27.19
Pol entrando	12.25	3.61	3.50	2.40	2.20	1.51
Pol saliendo	3.61	2.60	2.40	2.20	1.51	0.83
Pol extraido	8.64	1.01	1.10	0.20	0.70	0.68
% extraccion	70.49	27.94	31.43	8.16	31.55	44.86
%ext esperada						
Extracción del tandem	93.2092					

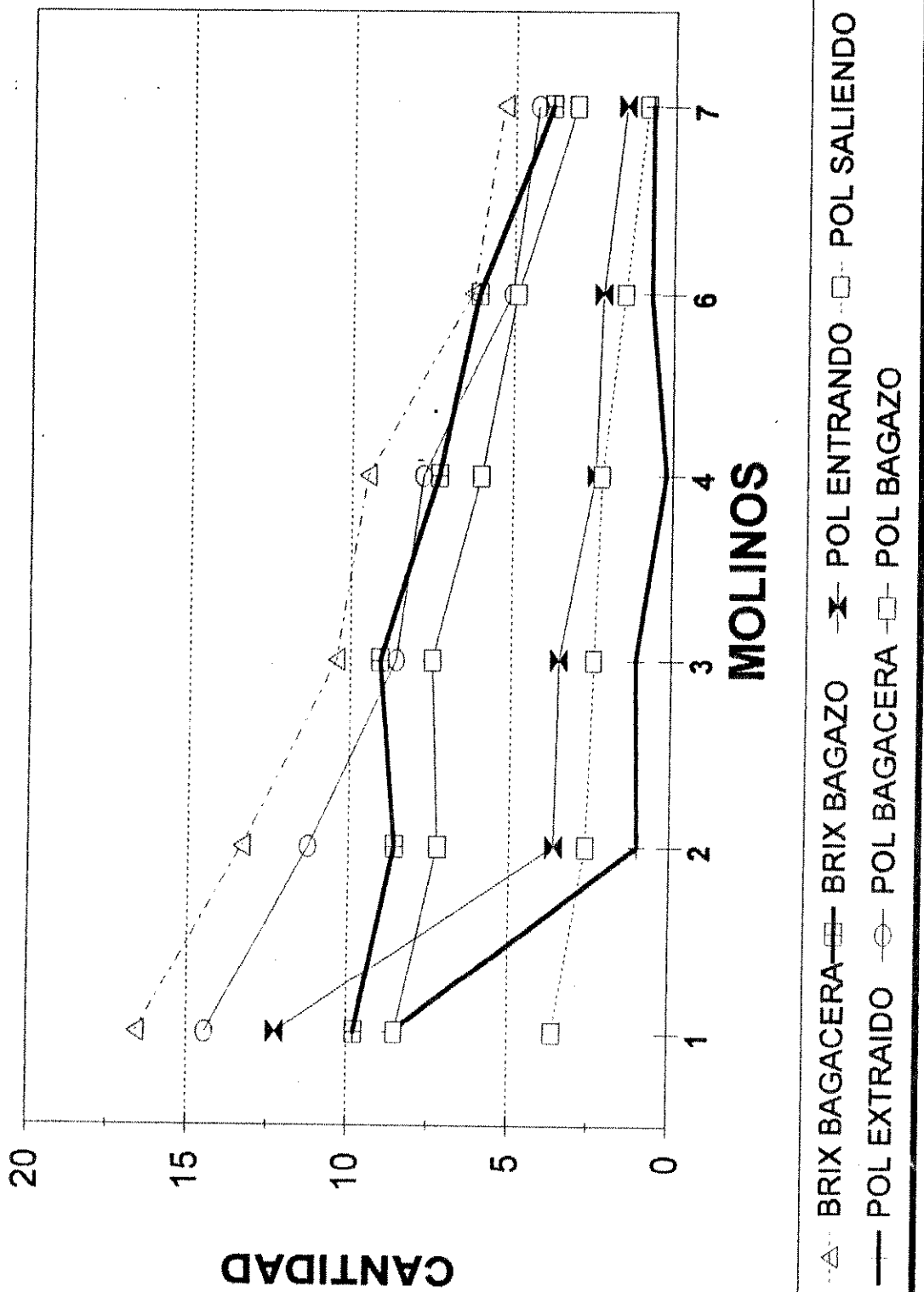
NOTA: MOLINO 5  
BYPASS

BRIX BAGACERA  
BRIX BAGAZO  
POL ENTRANDO  
POL SALIENDO  
POL EXTRAIDO  
POL BAGACERA  
POL BAGAZO

HUMEDAD  
BAGAZO  
PUREZA  
BAGACERA  
FIBRA BAGAZO  
BAGAZO CAÑA

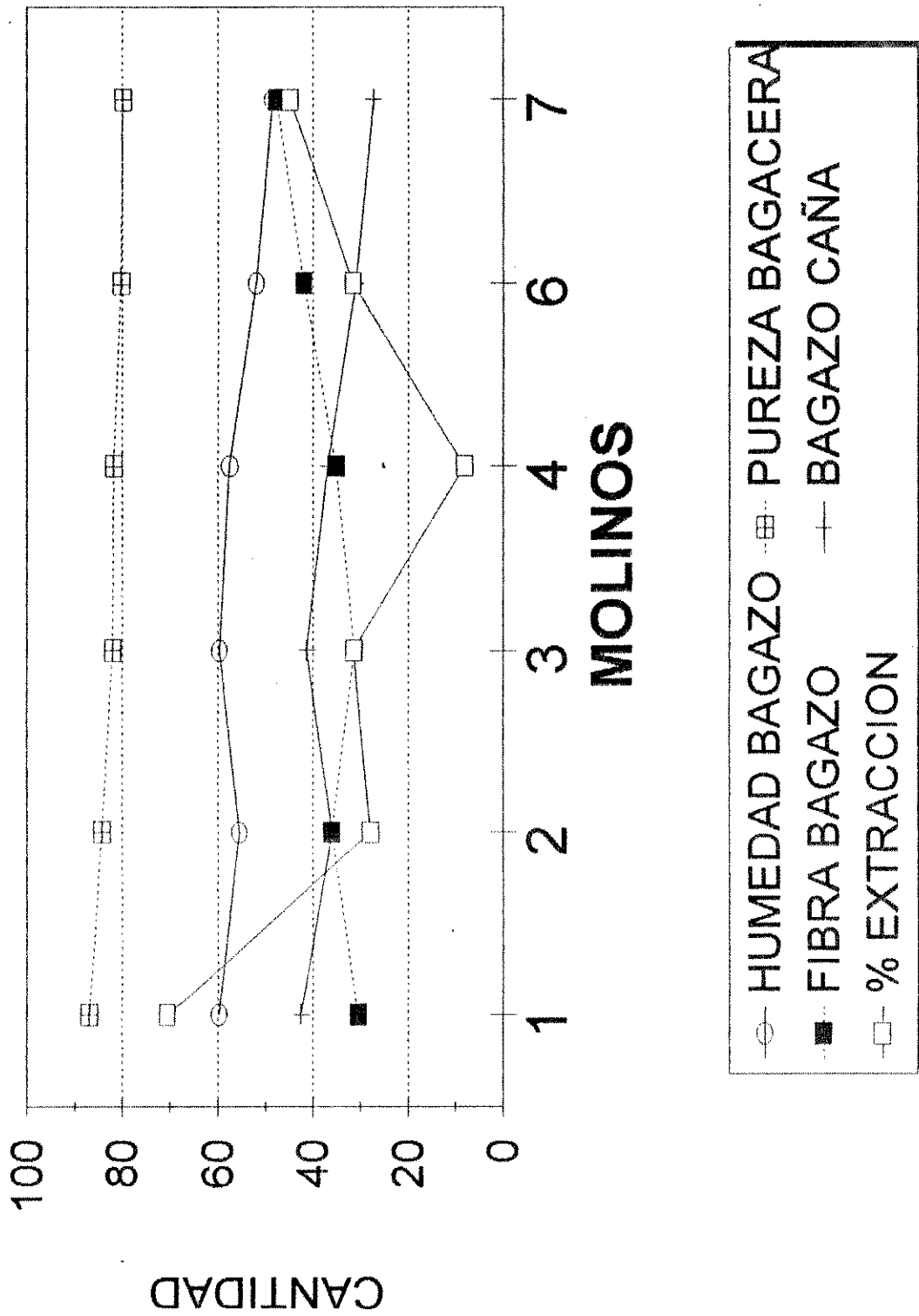
# CORRIDA NO. 1

## CURVA 1A



FUENTE: ELABORACION PROPIA

# CORRIDA NO.1 CURVA 1B



FUENTE: ELABORACION PROPIA

#### 4.2.2 Corrida No.2

Resultados curva de molinos, Ingenio Santa Ana Zafra

1996 - 97. Día Miércoles 08 - 01 - 97 14:30 horas.

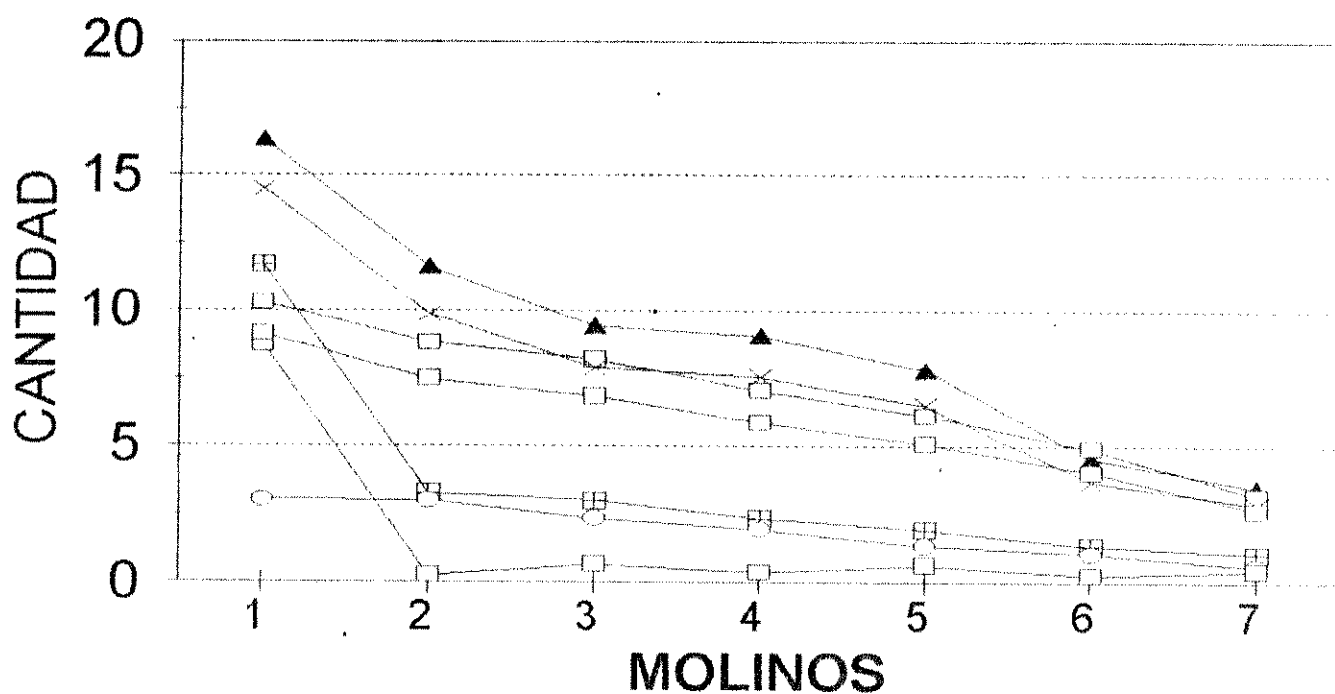
% Pol en caña 11.7  
% Fibra en caña 10.96

MOLINO:	1	2	3	4	5	6	7
Hum. Bag.	56.5	56.1	66.9	59.7	51.6	53.3	49.2
Pol Bag.	9.12	7.45	6.81	5.86	5.08	4.01	2.63
Brix. Bagacera	16.35	11.62	9.42	9.03	7.78	4.52	3.45
Pol Bagacera	14.49	9.86	7.85	7.52	6.48	3.7	2.86
Pza. Bagacera	88.62	84.85	83.33	83.28	83.2	81.86	82.90
Brix Bagazo	10.29	8.78	8.17	7.04	6.10	4.90	3.17
Fibra Bagazo	33.21	35.12	24.93	33.26	42.3	41.80	47.63
Bagazo caña	33.00	31.21	43.97	32.95	25.9	26.22	23.01
Pol entrando	11.70	3.25	2.99	2.32	1.93	1.32	1.05
Pol saliendo	3.01	2.99	2.32	1.93	1.32	1.05	0.61
Pol extraido	8.69	0.26	0.67	0.39	0.61	0.26	0.45
% extraccion	74.27	8.00	22.41	16.77	31.8	20.12	42.44
%ext esperada							

Extracción del Tandem 91.013

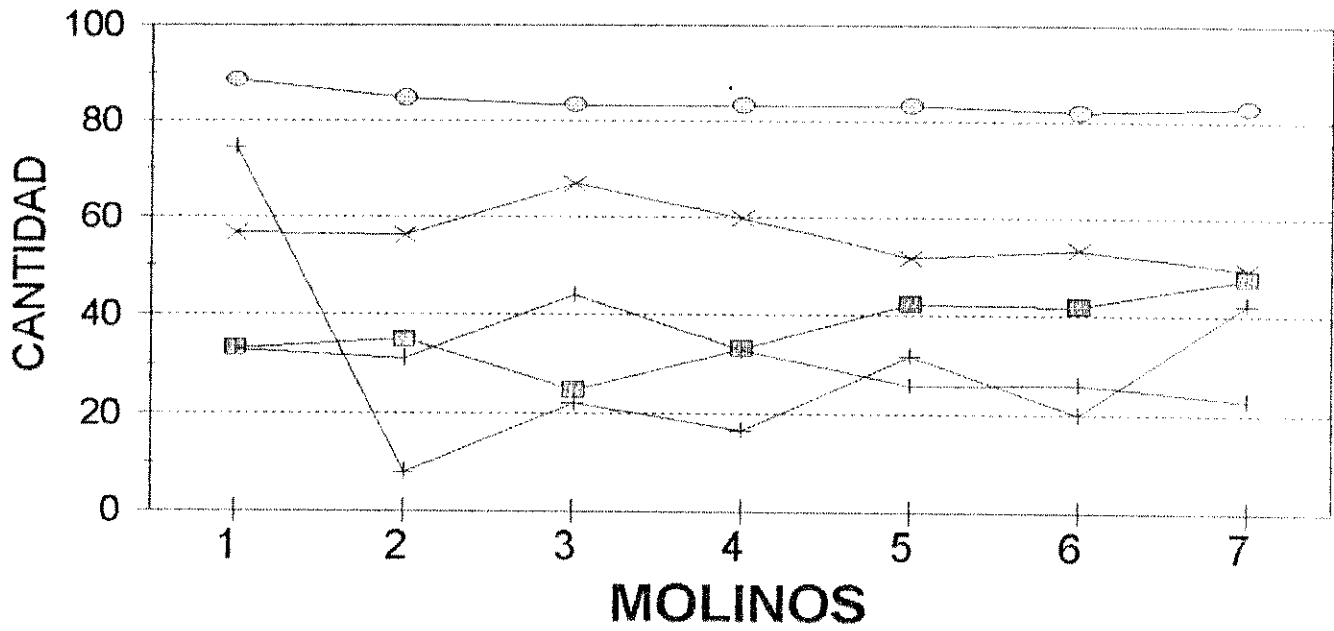
BRIX BAGACERA  
BRIX BAGAZO  
POL ENTRANDO  
POL SALIENDO  
POL EXTRAIDO  
POL BAGACERA  
POL BAGAZO  
HUMEDAD  
BAGAZO  
PUREZA  
BAGACERA  
FIBRA BAGAZO  
BAGAZO CAÑA  
% EXTRACCION

## CORRIDA No.2 CURVA 2A



- ▲ BRIX BAGACERA    □ BRIX BAGAZO    ▣ POL ENTRANDO
- POL SALIENDO    □ POL EXTRAIDO    ✕ POL BAGACERA
- POL BAGAZO

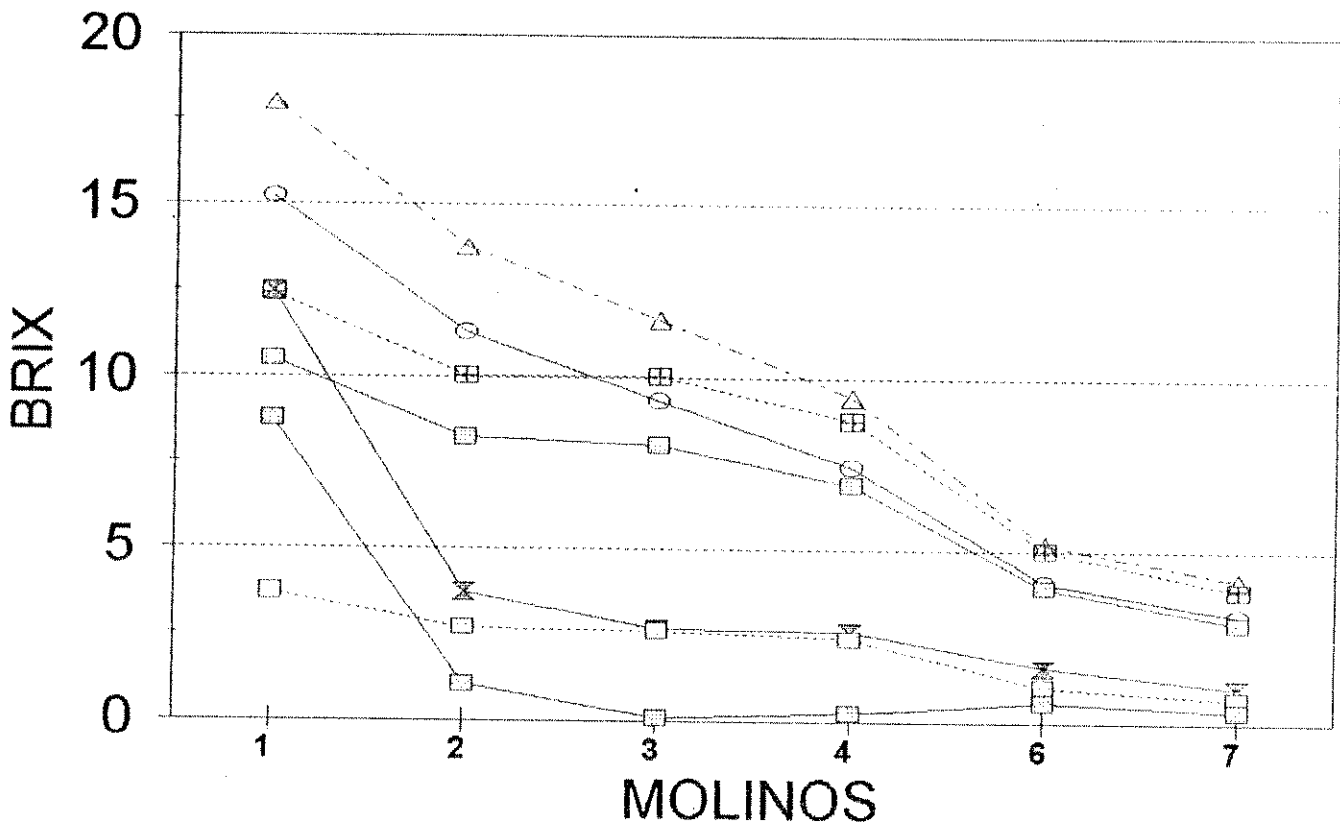
## CORRIDA No.2 CURVA 2B



\* HUMEDAD BAGAZO    -o- PUREZA BAGACERA    ■ FIBRA BAGAZO  
 + BAGAZO CANA        + % EXTRACCION



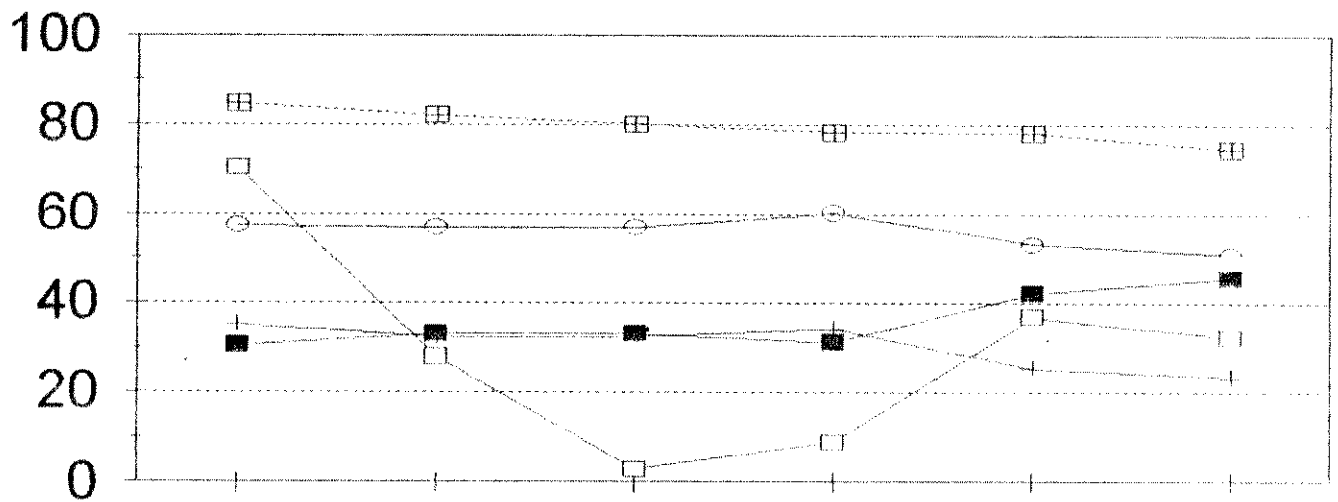
**CORRIDA N. 3  
CURVA A**



- △- BRUX BAGACERA    -▣- BRUX BAGAZO    -⊗- POL ENTRANDO    -□- POL SALIENDO
- ▣- POL EXTRAIDO    -○- POL BAGACERA    -▣- POL BAGAZO



**CORRIDA No.3**  
**CURVA B**



○ HUMEDAD BAGAZO    ⊞ PUREZA BAGACERA  
■ FIBRA BAGAZO      + BAGAZO CAÑA  
□ % EXTRACCION

#### 4.2.4 Corrida No. 4

Resultados curva de molinos, Ingenio Santa Ana

Zafra 1996 - 97. Día miércoles 11 - 12 - 96 14:30 horas

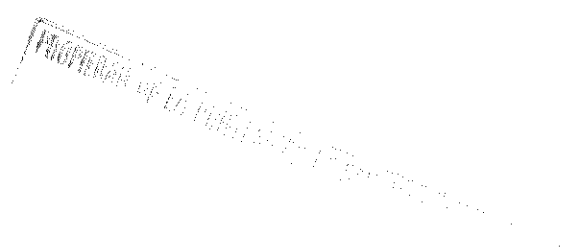
% Pol en caña 12.25  
% Fibra en caña 12.96

MOLINO:	1	2	3	4	6	7
Hum. Bag.	58	62	65	60.6	53.4	49.8
Pol Bag.	9.78	7.85	6.98	5.86	3.58	2.42
Brix. Bagacera	18.34	11.59	9.75	7.78	4.5	2.76
Pol Bagacera	16.39	9.87	8.16	6.4	3.57	2.3
Pza. Bagacera	89.37	85.16	83.69	82.26	79.33	83.33
Brix Bagazo	10.94	9.22	8.34	7.12	4.51	2.90
Fibra Bagazo	31.06	28.78	26.66	32.28	42.09	47.30
Bagazo caña	40.83	44.06	47.56	39.29	30.13	26.81
Pol entrando	12.97	3.99	3.46	3.32	1.23	1.08
Pol saliendo	3.99	3.46	3.32	2.30	1.08	0.65
Pol extraido	8.98	0.53	0.14	1.02	0.15	0.43
% extraccion	69.21	13.39	4.01	30.65	12.55	39.85
%ext esperada						

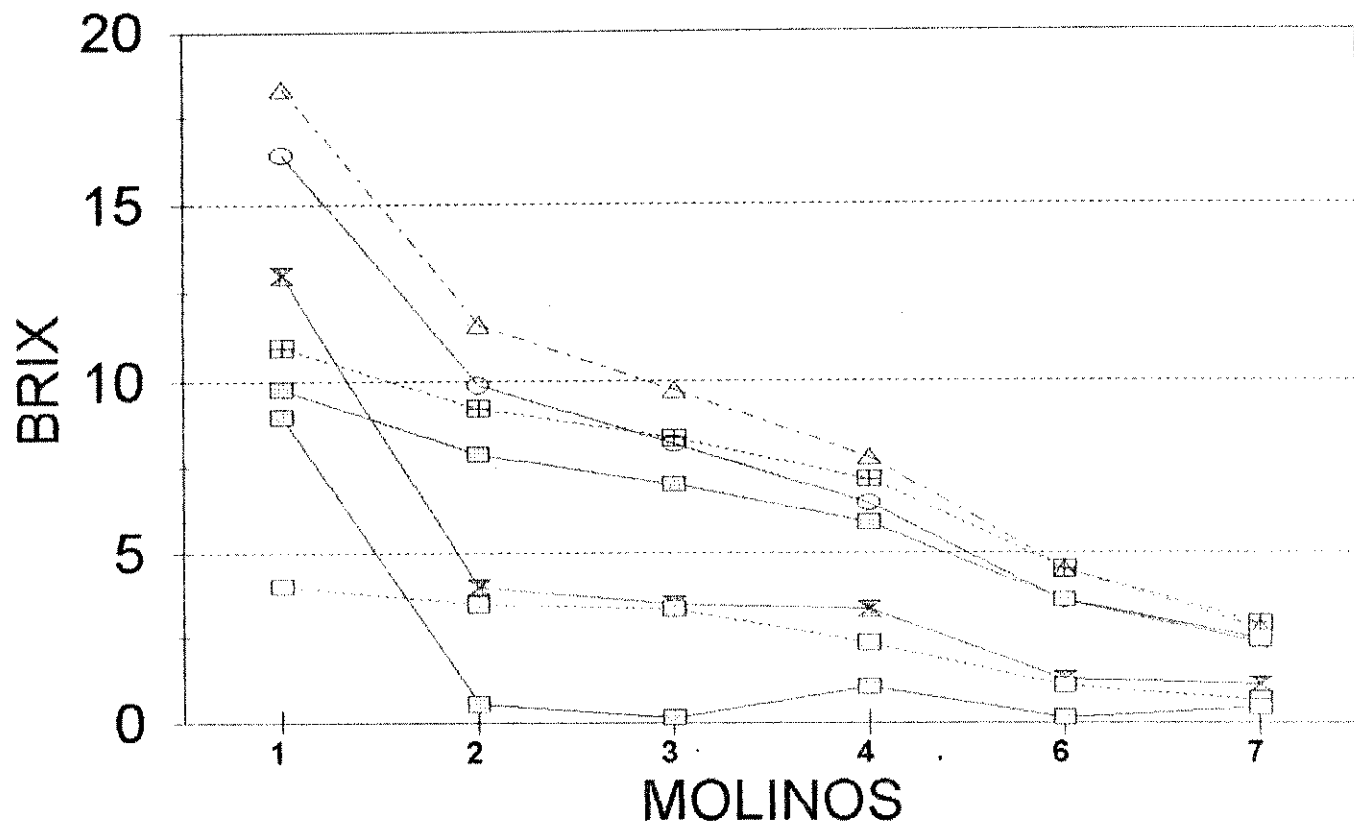
Extracción del Tandem 94.997  
BYPASS

NOTA: MOLINO 5

BRIX BAGACERA  
BRIX BAGAZO  
POL ENTRANDO  
POL SALIENDO  
POL EXTRAIDO  
POL BAGACERA  
POL BAGAZO  
HUMEDAD BAGAZO  
PUREZA BAGACERA  
FIBRA BAGAZO  
BAGAZO CAÑA  
% EXTRACCION

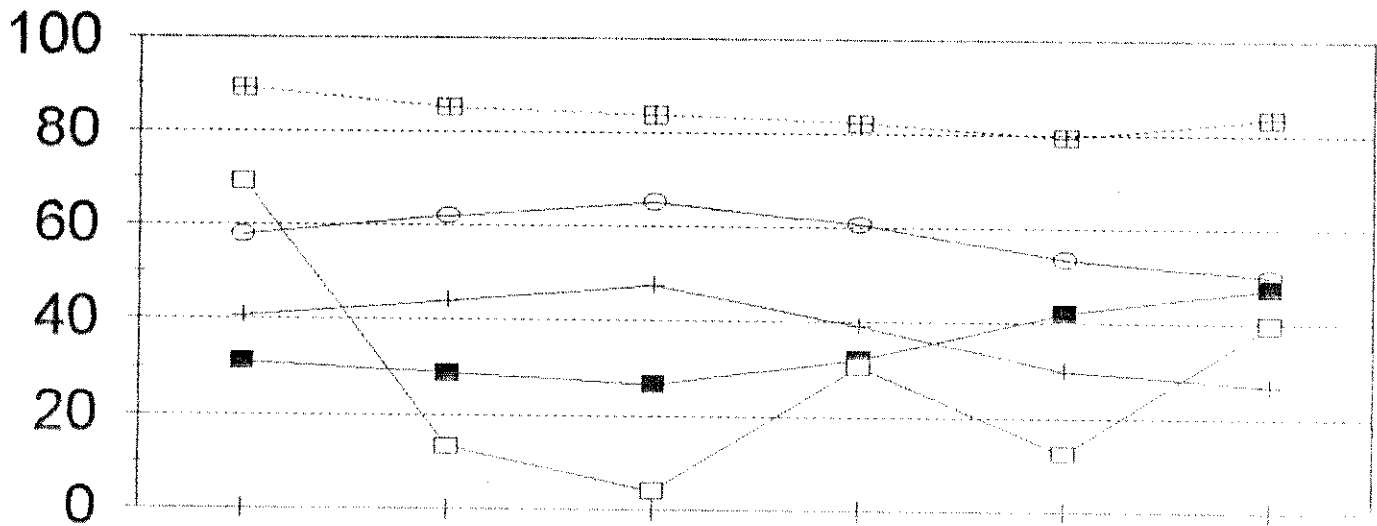


**CORRIDA N. 4  
CURVA A**



-△- BRIX BAGACERA    -▣- BRIX BAGAZO    -×- POL ENTRANDO    -□- POL SALIENDO  
 -□- POL EXTRAIDO    -○- POL BAGACERA    -■- POL BAGAZO

CORRIDA No.4  
CURVA B



○ HUMEDAD BAGAZO    ⊠ PUREZA BAGACERA  
■ FIBRA BAGAZO    + BAGAZO CAÑA  
□ % EXTRACCION

### **4.3 Interpretación de resultados**

La corrida se realizó en muestreos por triplicado abarcando un lapso de tiempo de 20 minutos de molienda continua, o sea sin interrupciones de ningún tipo, y con todos los molinos trabajando normalmente.

El análisis se realizó en el cromatógrafo líquido HPLC para mayor confiabilidad de datos y no registrar datos aparentes, sobre todo en las polarizaciones y por consiguiente en las purezas.

Las gráficas anteriores son del promedio de las 4 corridas. Y trataré de explicar brevemente el comportamiento de la manera siguiente:

#### **4.3.1 Brix bagacera**

Esto se refiere al Brix del jugo que sale por la maza bagacera de cada molino y como podemos observar de la tabla y gráfica la caída normalmente debe ser conforme avanza a lo largo de cada molino, partiendo desde 18.34 como máximo Brix hasta 2.76 como Brix mínimo detectado, lo cual nos da una pendiente negativa que a menor Brix en molino 7 obtenemos mayor eficiencia, esto lo podemos conseguir aplicando la mayor cantidad de agua de Imbibición (30% Promedio) y ajuste adecuado en los molinos (ver capítulo anterior No.3) con maceración completa compuesta.

Por muy pequeña que sea la maceración y por muy abierto que trabajen los ajustes del molino siempre debe existir una caída de Brix por muy pequeña que sea, de no ser así podemos pensar en una mala toma de la muestra o una variedad distinta de caña en el instante que se realiza el muestreo.

#### 4.3.2. Humedad bagacera

Este dato se refiere a la humedad del bagazo tomado en la salida de cada molino, o sea en la maza bagacera. El análisis se hace tomando una muestra teniendo el cuidado de no ser contaminada con salpicadura del jugo de maceración, pues esto nos daría un resultado mayor al real.

La toma del bagazo del último molino, o la del molino 7 es el dato del trabajo de extracción de este molino y del bagazo que va a calderas para ser usado como combustible para producir vapor. Podemos decir que la humedad del bagazo está directamente relacionada a la abertura del juego de mayor, sobre todo entre la superior y la bagacera, y a la flotación de la maza superior, ya que esta última es comúnmente la responsable de los cambios súbitos hacia arriba en la humedad.

Podemos observar que la pendiente es suave y negativa con el transcurso de cada molino, pero es importante que en la salida del molino 7 sea la menor posible, pues esto va íntimamente relacionado con la eficiencia de combustión de las calderas que utilizan dicha materia prima; este último nos obliga a controlar la velocidad de la turbina del último molino pues la velocidad excesiva de la turbina nos daría una flotación muy pequeña y por consiguiente una humedad muy alta.

La forma de calcular la humedad de bagazo es sencilla pues a una muestra conocida de bagazo de 500 gramos exactos, la colocamos en un horno de microondas por 12 minutos y el peso que perdió se divide entre el peso original y a esta relación le llamamos porcentaje de humedad en el bagazo. La humedad debe de mantenerse alrededor del 50 % para ser aceptable, pero a menor humedad menores pérdidas.

#### 4.3.3 Pol bagazo

El pol del Bagazo es la lectura polarimétrica que se obtiene del bagazo en la salida de cada molino. El comportamiento normal de una curva de pol de bagazo es siempre con pendiente moderada que viene desde 9 en el molino 1 hasta 2 en el molino 7, cualquier dato en el transcurso de la curva que diera una pendiente menor a la de los demás molinos nos indicaría la ineficiencia de extracción de dicho molino.

Si la curva fuera de pendiente variable podría analizarse pensar primero que la maceración no es completa en el molino problema, ya sea por desperfectos de bomba y otro en la línea de maceración.

El dato de pol en bagazo es uno de los más importantes pues refleja no solo la eficiencia del tandem sino las pérdidas. La pérdida más alta en molinos se tiene y puede medir sabiendo el pol en bagazo, también es importante saber que la muestra de bagazo es la misma tanto para el pol como para la humedad.

#### 4.3.4 Pol bagacera

Este dato se refiere al pol del jugo saliendo de la maza bagacera el cual se analiza por el método Horn de polarización o por cromatografía.

Esta varía normalmente desde 14 en el molino 1 hasta 2 en el molino 7, también le llamamos jugo residual al jugo que sale del molino 7 y el pol corresponde a Pol Bagacera molino 7. La curva mostrada en la gráfica también muestra una pendiente negativa y por consiguiente cualquier punto que modifique dicha pendiente indicaría la deficiencia de extracción en el molino.

#### **4.3.5. Pureza bagacera**

Esta pureza bagacera es la pureza de jugo de caña saliendo de cada molino y es un dato calculado que viene de la relación de Pol bagacera/Brix bagacera x 100; lo cual nos indica la cantidad de azúcar que trae dicho jugo. Podemos observar que su curva también tiene una pendiente negativa y cualquier punto que modifica el ángulo de dicha pendiente podemos tomarlo como problema tratado en puntos anteriores en Brix bagacera y Pol bagacera.

#### **4.3.6 Brix bagazo**

Dato necesario para poder medir la cantidad de azúcar que se queda en el bagazo aunque su curva proporcione poca información, siempre debe ser con pendiente negativa con el recorrido del molino del 1 al 7.

#### **4.3.7. Fibra bagazo y bagazo caña**

Es un dato que debe de mantenerse constante a lo largo del tandem pero sus variaciones notadas en las curvas se deben a las tomas de muestras instantáneas con distinta variedad de caña.

#### **4.3.8 Pol entrando, saliendo y extraído**

Estos son los datos de jugo tomado en la salida de cada molino y nos proporciona también la mayor información para poder medir la extracción de cada molino por medio de fórmulas matemáticas.



Podemos observar que la gráfica de las corridas anteriores muestra la enorme caída que tiene el pol en el molino 1 y en el recorrido de los demás molinos la pendiente es moderada.

De aquí podemos comprobar que la extracción del molino No.1 es mayor que la de cualquier molino y esto se debe a que al entrar al molino 1 la caña no tiene mas que jugo, pero al entrar al molino No.2 la caña lleva consigo el jugo que no se extrajo y jugo macerado del molino 3. La curva de pol extraído no es más que la diferencia entre el pol entrando y el pol saliendo.

#### 4.3.9 Porcentaje de extracción

Este es un dato difícil de comprender, pero uno de los más importantes, pues aunque es el resultado de un procedimiento matemático dá a conocer directamente la eficiencia específica de cada molino y por consiguiente la eficiencia de todo el tandem.

Aunque la curva de extracción tenga brincos hacia arriba no quiere decir que el molino no está extrayendo, sino que sí lo está haciendo pero en forma ineficiente o menor eficiente que los otros.

No debemos de olvidar que la extracción está directamente relacionada a la cantidad de agua de imbibición aplicada en el molino 7 es por eso que debemos echar toda esa agua posible que la fábrica sea capaz de evaporar para poder disminuir así a la mínima expresión las pérdidas de azúcar que se van en el bagazo.

## 5. PARAMETROS DE MEDICION Y COMPARACION

Un Ingenio Azucarero es una empresa en donde el crecimiento es violento y continuo, y que además debe competir con otros y consigo mismo con parámetros de eficiencia y efectividad, es importante poder determinar y analizar ciertos parámetros que rigen y regulan su operación y mejoras de las próximas zafras, dichas mejoras podemos analizarlas más fácilmente mediante gráficas como las siguientes:

### 5.1 Tiempo perdido

Como podemos observar en tiempo perdido en las últimas 4 zafras el tiempo se incrementó por las siguientes causas:

En la zafra 93/94 y 94/95 el tiempo perdido no se tomaba el de mantenimiento ni el de piedras, estos se incluían en uno que se llamaba varios, es por eso que las zafras se pueden comparar únicamente las dos últimas o sea la 95/96 con la 96/97 y podemos decir que el tiempo disminuyó en un 4.8% en relación a la 95/96. Esta disminución se debe a los cambios y mejoras realizadas en todos los departamentos, los cambios fueron los siguientes más importantes:

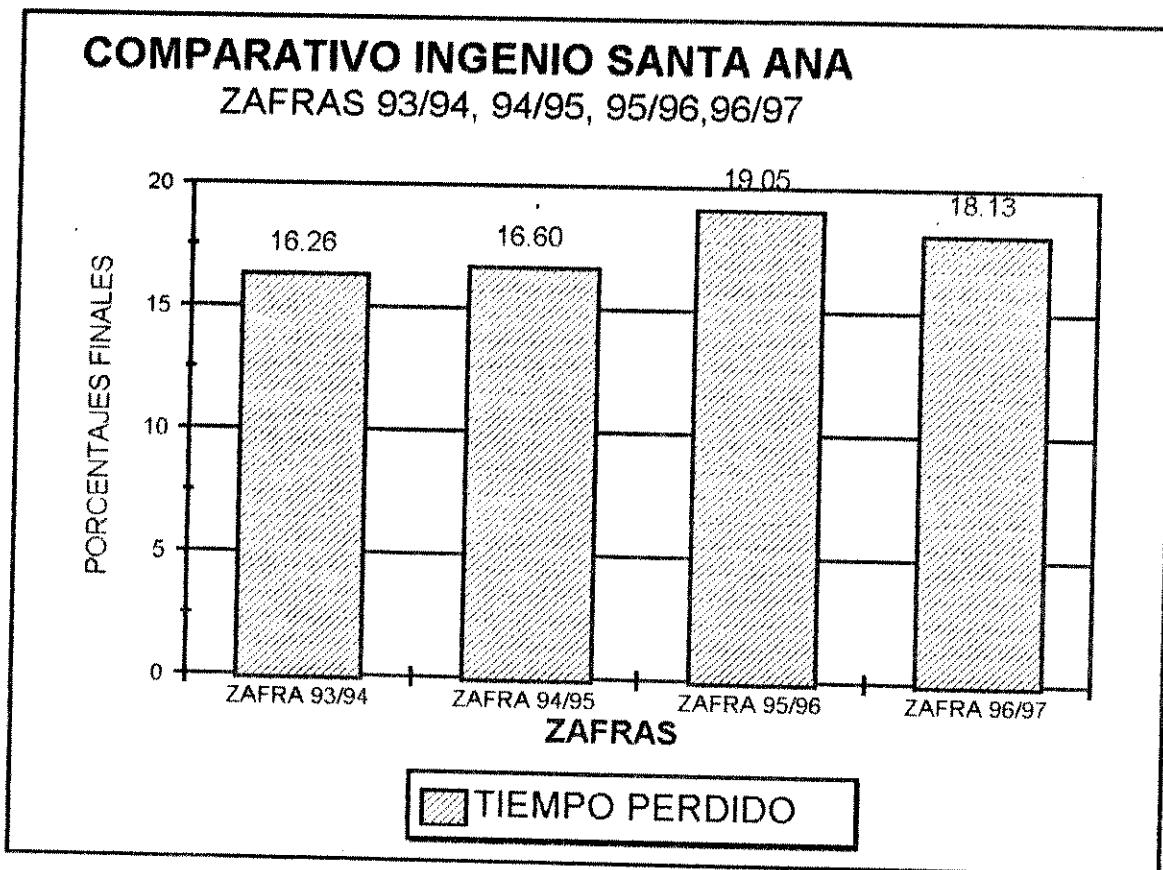


Figura No. 27

## 5.2 Caña molida

Luego de observar podemos ver que en la Zafra 95/96 es la única en que se disminuye considerablemente la Caña Molida, pero este se debe a un fenómeno climatológico según expertos en Ingeniería Agrícola y además este mismo afectó a casi todas las áreas de la Costa Sur, pero en el último año tenemos el 18.2% de incremento de caña tanto por mejor rendimiento en la finca como también mayor área sembrada.



Figura No. 28

### 5.3 Caña % pol

Existe una variación muy pequeña entre el pol de caña de este año con el de años anteriores aunque en los últimos se dió un incremento del 1.41% y 0.65% con respecto a su año anterior. Por la gráfica, podemos decir que no existe diferencia significativa, pero si tomamos en cuenta la cantidad de caña de 1,649,293.81 esto representa muchas libras de azúcar.

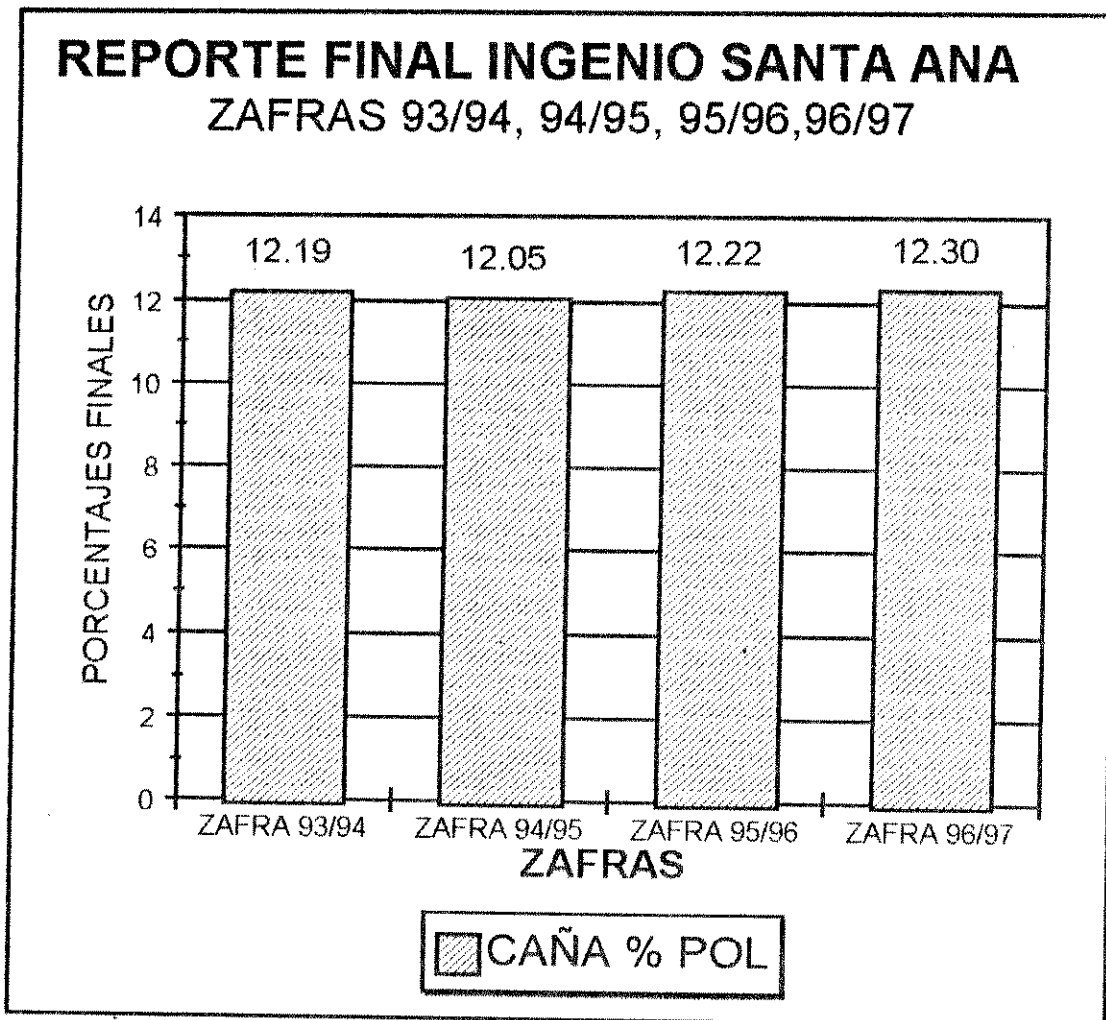


Figura No. 29

## 5.4 Extracción % pol

En el año 93/94 la extracción era de 94.13% Pol, pero luego en la zafra 94/95 tubo un descenso del 0.7%, ó sea a 93.47, esto se debió al incremento en la caña molida y razón por la cual la Junta Directiva de Santa Ana tomó la decisión de instalar 1 molino más, llamándole Molino No.1 y así se convirtió en un Tandem de 7 Molinos.

En la siguiente zafra o sea 95/96 se notó el incremento de extracción a un 93.92% de Pol, o sea un 0.48%, este incremento hubiera sido mayor pero el agua de imbibición fue la pobre cantidad de 15% de caña, contra una recomendada de un 25%, problema que no pudo resolverse hasta en la siguiente zafra 96/97 en donde se aumentó la capacidad de la fábrica (evaporadores), en donde ya se aplica un 20.31% de agua de imbibición y se obtuvo un 93.69% de extracción con la mayor razón de molida 12,500 toneladas caña/día, en sus mejores días de zafra.

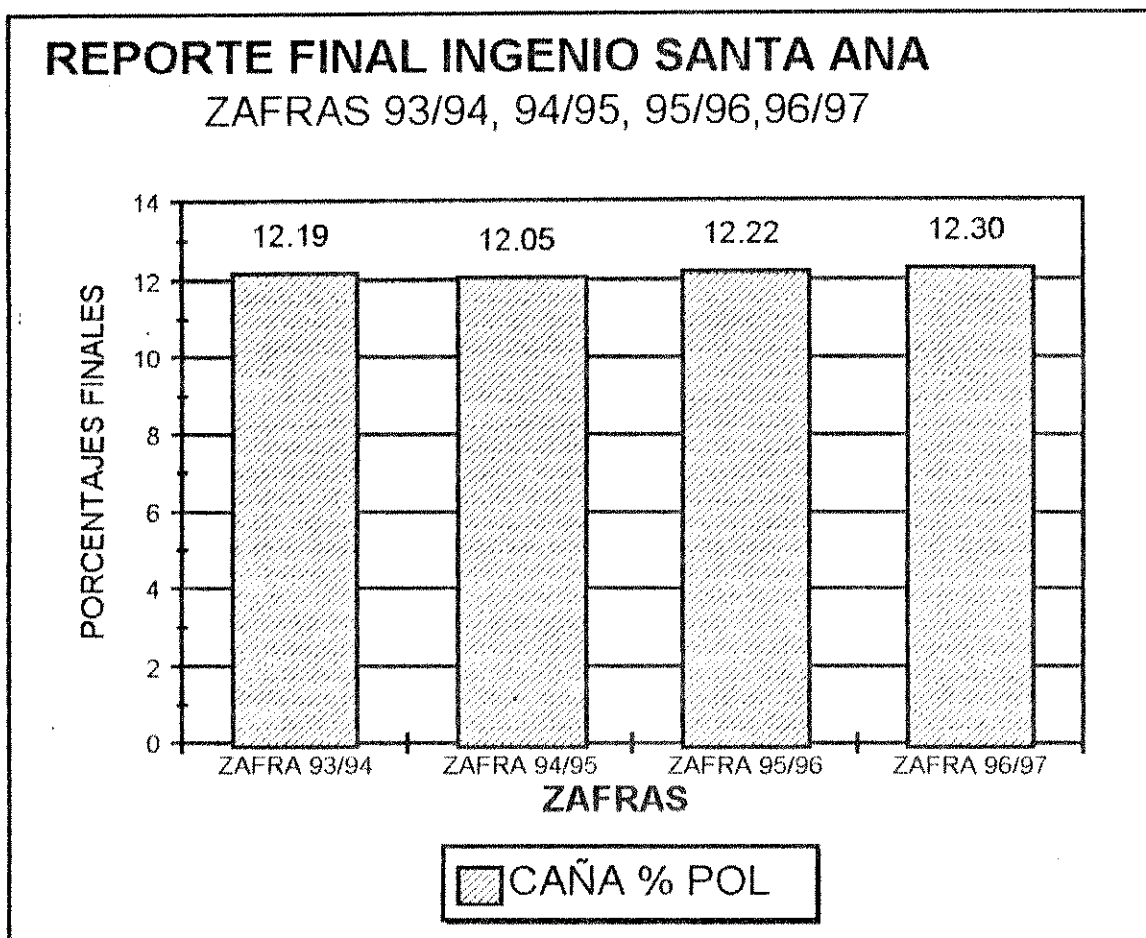


Figura No. 30

### 5.5 Bagazo % pol

El Índice de mayor pérdida en un molino lo tenemos en el bagazo y podemos observar que con 2.61 % Pol en Bagazo es un buen dato ya que la razón de molido esta alta en relación a la zafra 95/96.

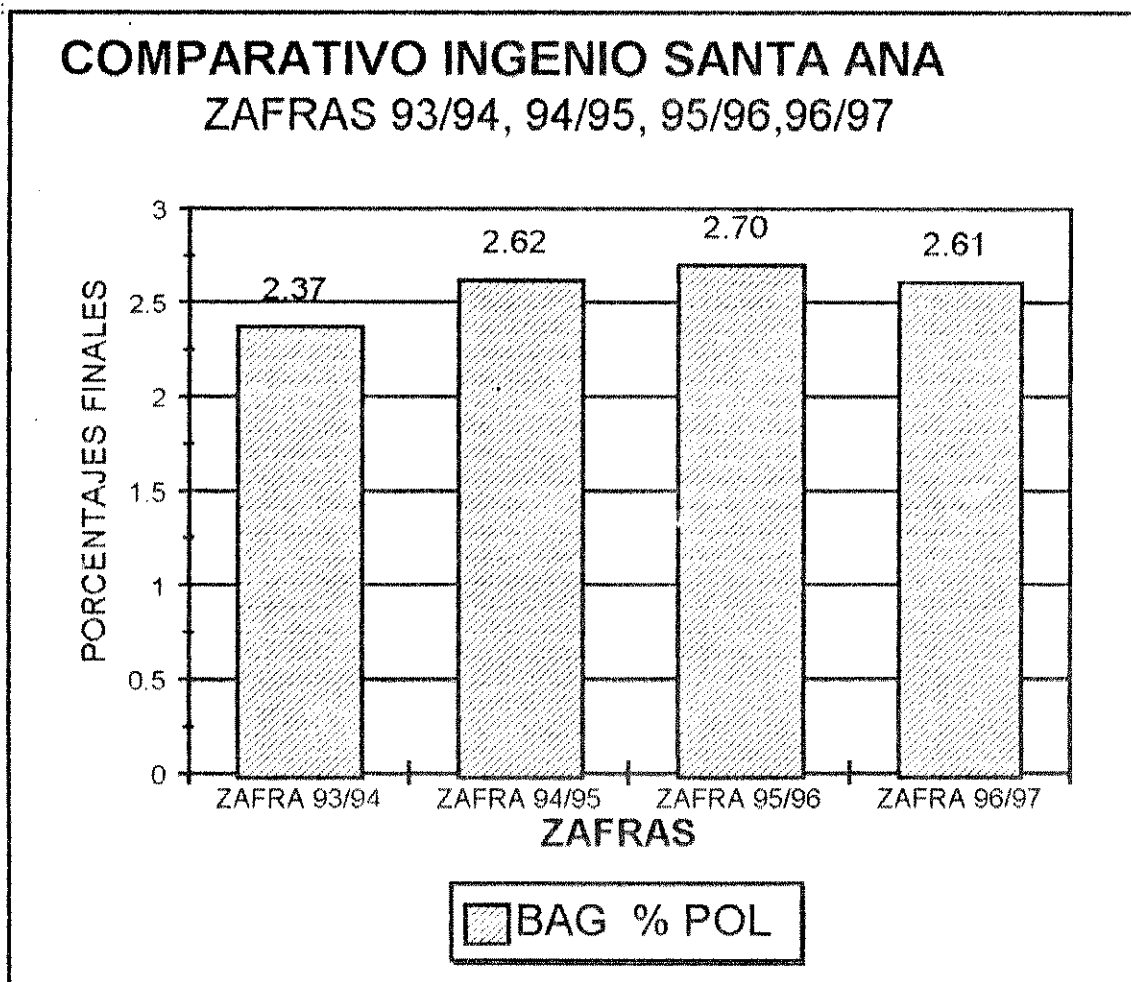


Figura No. 31

## 5.6 Bagazo % humedad

Este dato nos dá un buen trabajo de operación tanto de la flotación como la velocidad del último molino que es en nuestro caso el Molino #7, y podemos observar que un 50.08% de humedad sigue siendo un buen valor si nos ponemos a pensar que estamos en el promedio de los demás ingenios y con una razón de molida alta y una imbibición del 20.31%, pero éste es un dato que podemos resolver si aumentamos el mantenimiento y cambio programado en las maza superior y bagacera del Molino #7 y ajuste continuo para mantener la abertura calculada en el mismo molino.

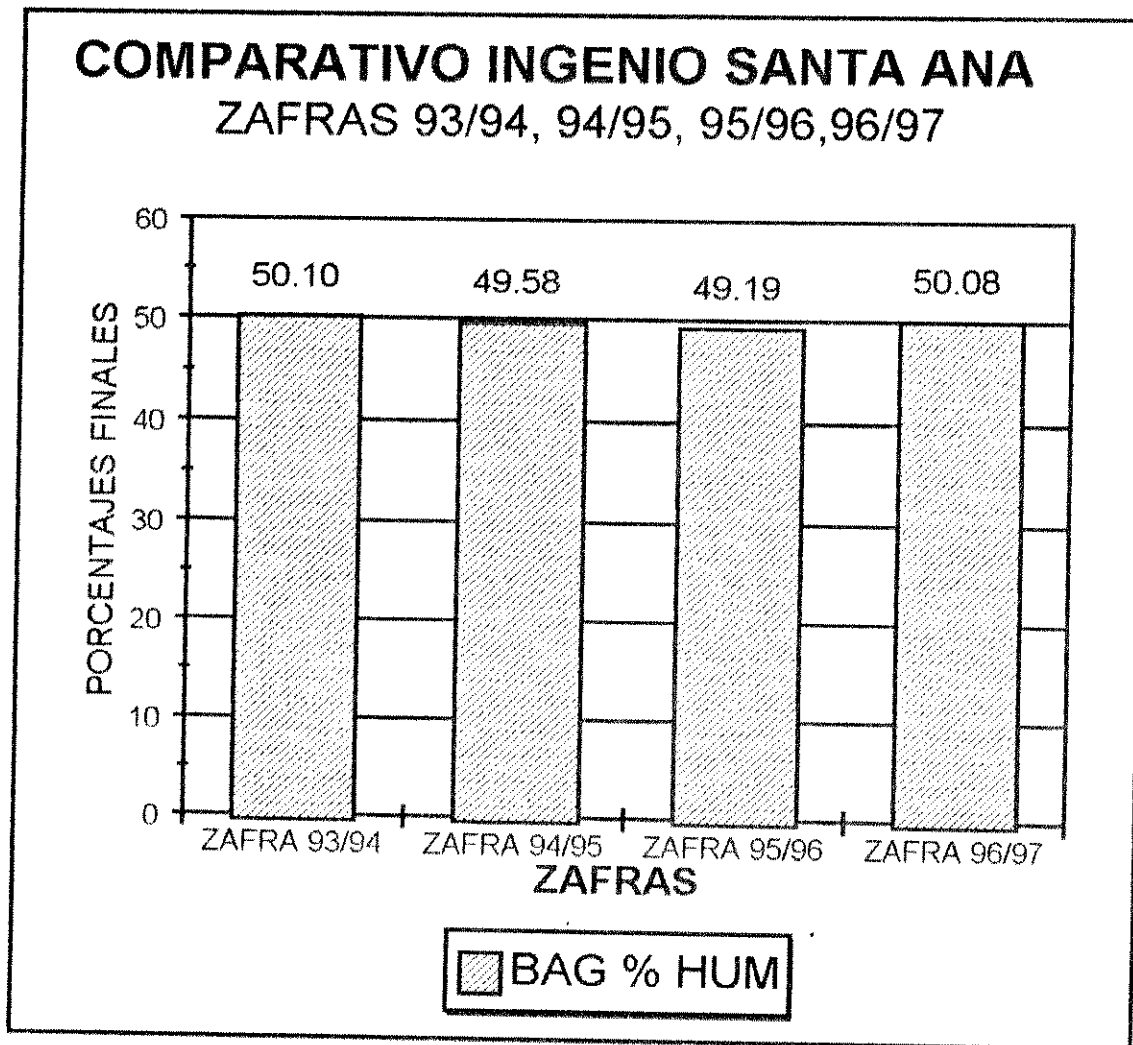


Figura 32

### 5.7 Imbibición % caña

Este dato es el resultado de dividir las toneladas de agua de Imbibición aplicadas al Molino #7 entre las toneladas de caña molida. La restricción a esta cantidad es la capacidad de evaporación de la fábrica, ya que a mayor cantidad aplicada mayor es la extracción y menores son las pérdidas en el bagazo (Pol de Bagazo).

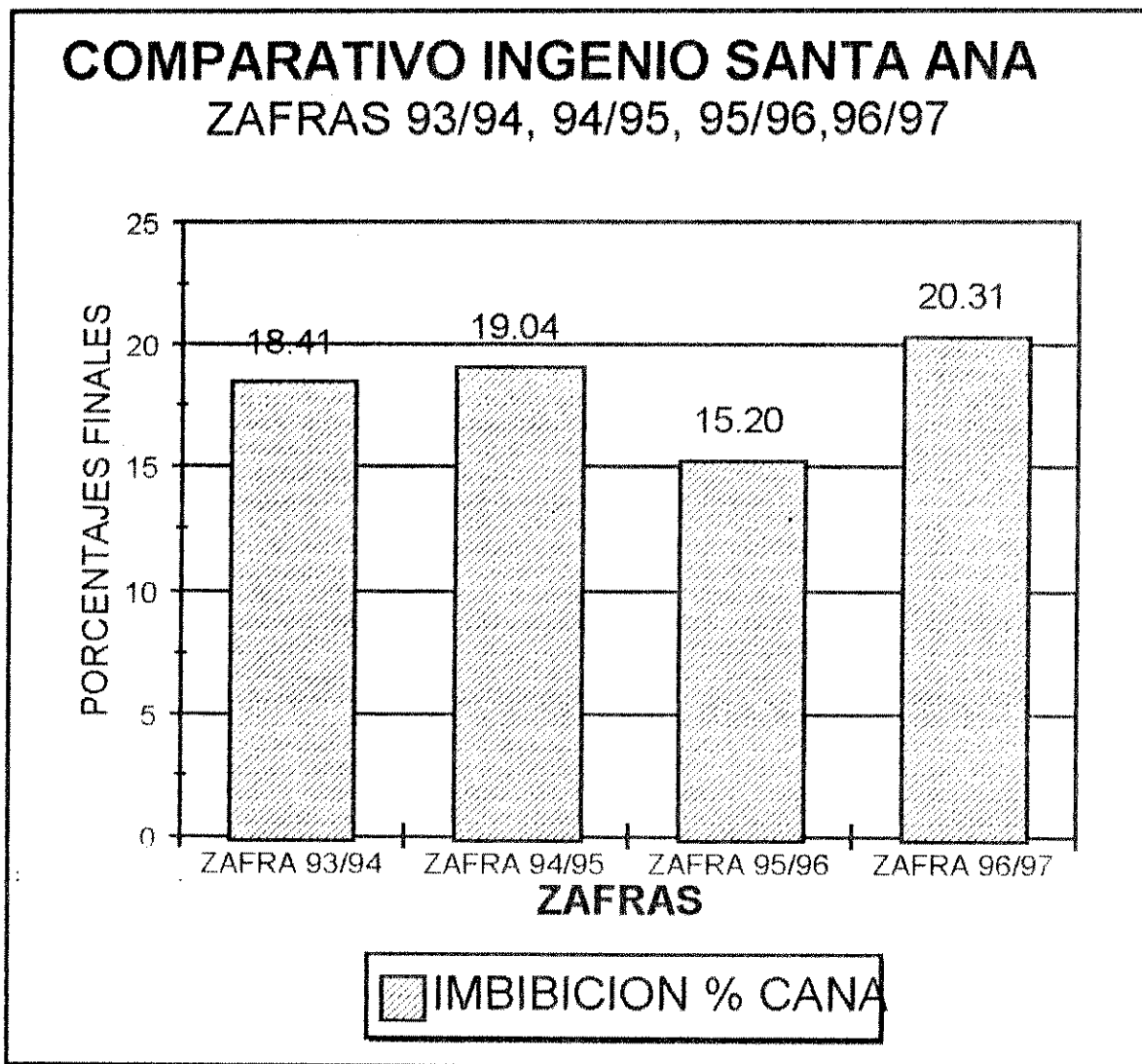


Figura 33



### 5.8 Extracción normal

Este es un dato que tiene el máximo comportamiento que la extracción % de Pol, por lo que no daré mayor ampliación al respecto.

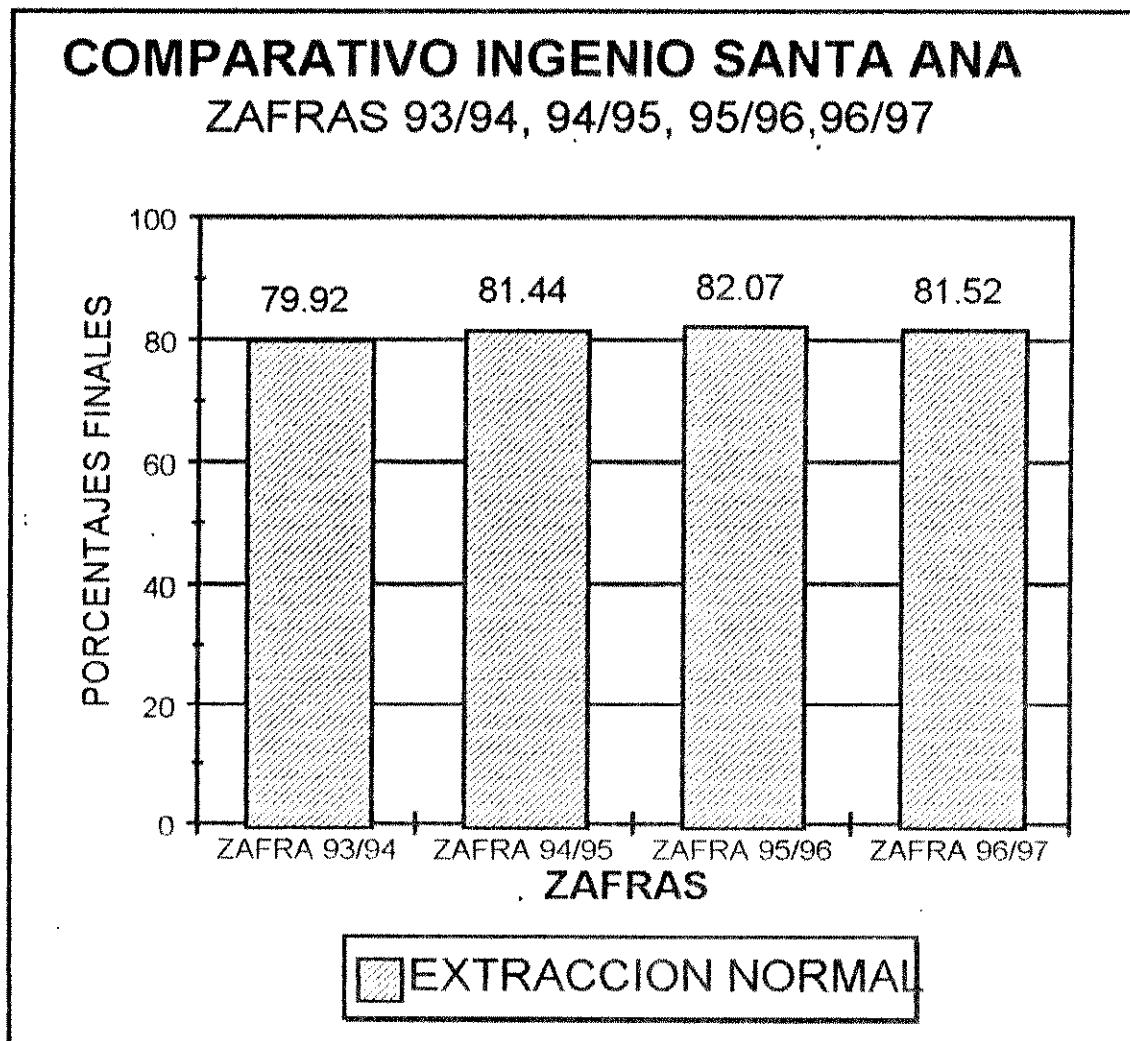


Figura 34

## 5.9 Pol cachaza

Se observa que teniendo la misma cantidad de filtros a mayor molienda mayor Pol de Cachaza, ya que como aumentó la cantidad de cachaza, debemos aumentar la velocidad del filtro.

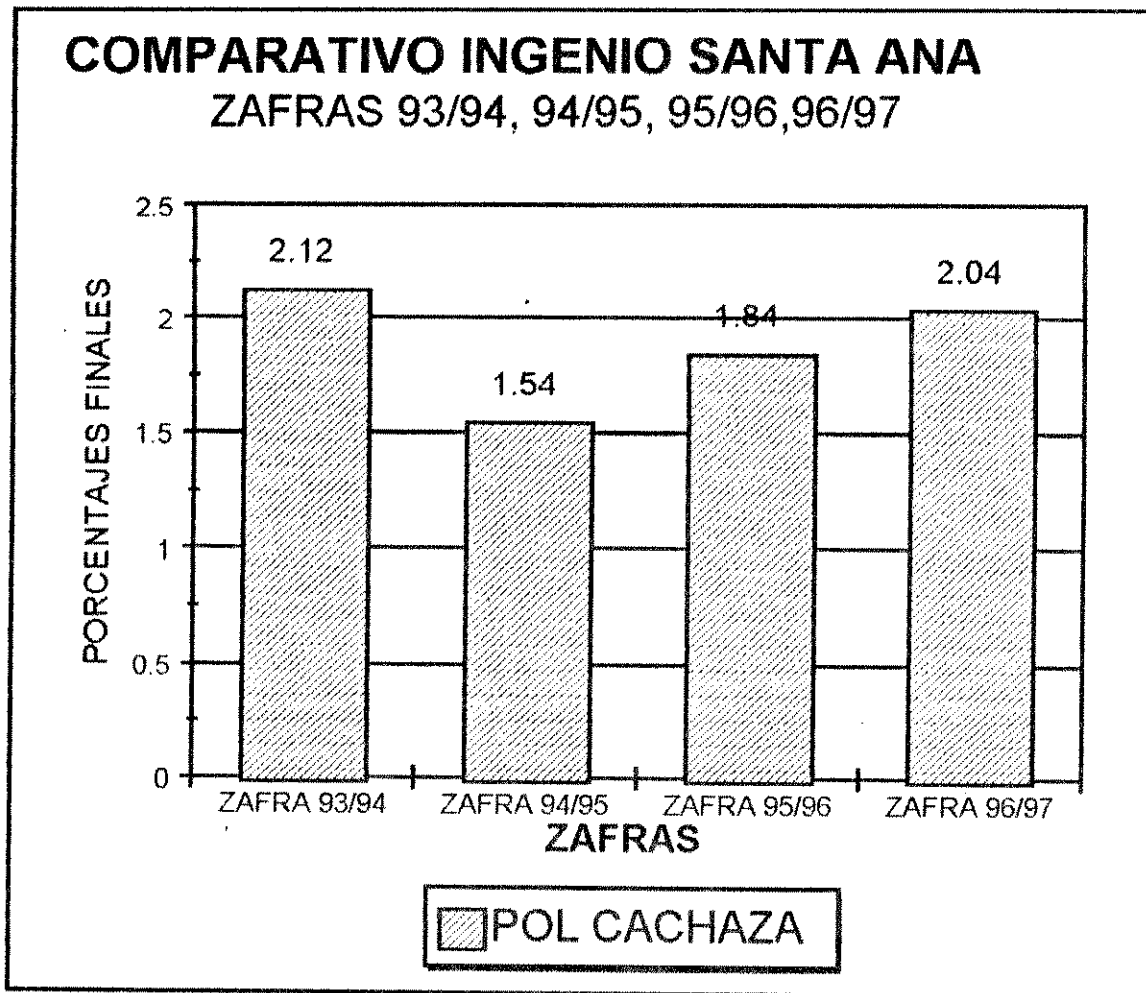


Figura 35

### 5.10 Miel final

Galones de miel final es un índice de la calidad y tiempo que tarda la caña en molerse, aquí podemos ver claramente que la caña en zafras 93/94 y 94/95 eran de mejor calidad o menor tiempo de corte hasta molerse.

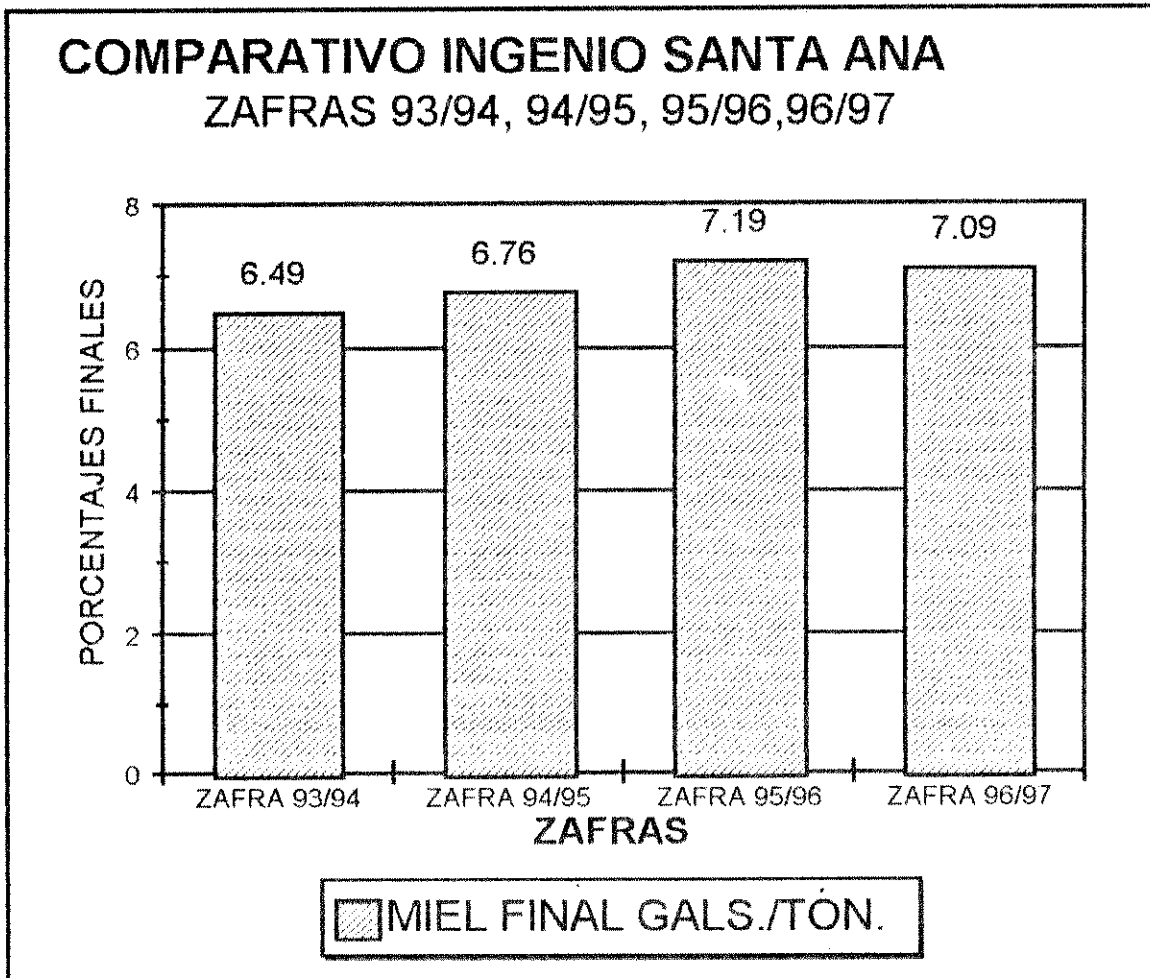


Figura 36

### 5.11 Pureza miel final

Podemos observar que esta zafra 96/97 es cuando son las pérdidas, ya que tiene más 32.95% pureza, debido a un buen agotamiento en la fábrica en general.

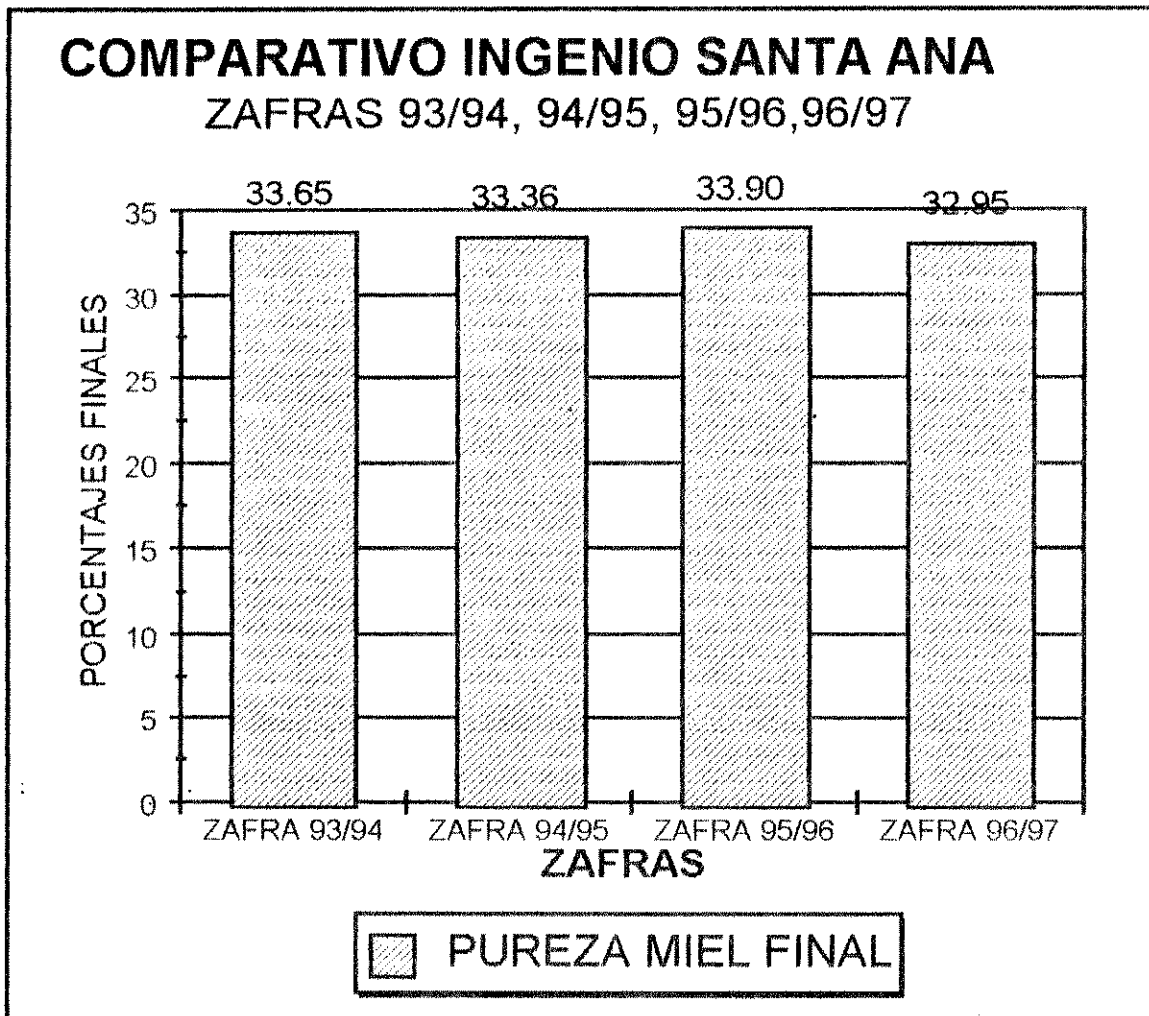


Figura 37

### 5.12 Rendimiento QQ/Tons.

Este se obtiene dividiendo los quintales de azúcar producidos entre las toneladas de caña molidas y en la zafra 96/97 tenemos 206.85, pero aplicando un descuento por la basura contenida en la caña del 6% por lo que el rendimiento comparativo varía de 194.50 que corresponde al mismo de la zafra 95/96.

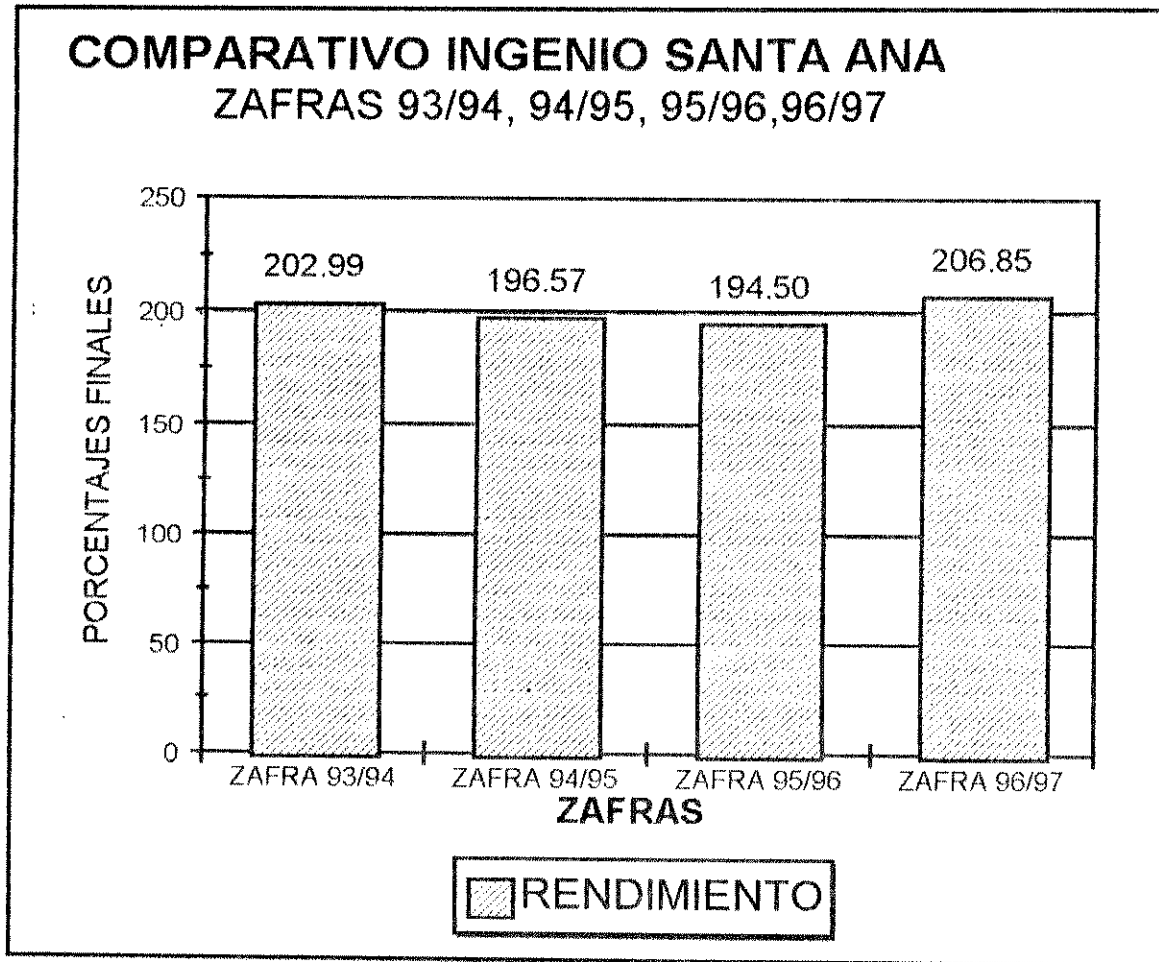
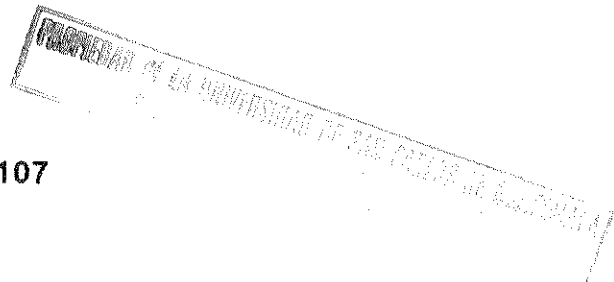


Figura 38



### 5.13 Quintales de producción

Este dato es únicamente para complemento de información del crecimiento de Ingenio Santa Ana.

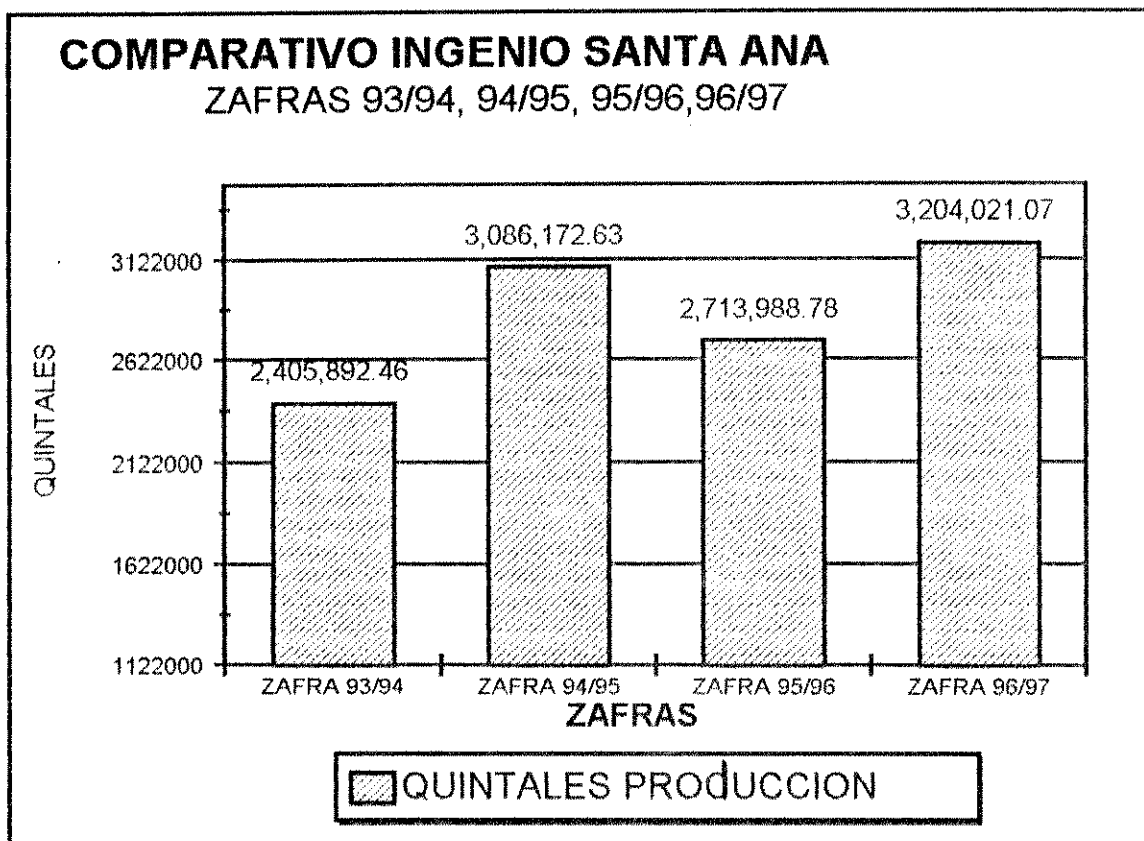


Figura 39

## 5.14 Análisis de tiempo perdido

Este es el parámetro más controlado ya que es el índice directo de las pérdidas grandes del ingenio, tanto en reparación como lo que se deja de moler. También debemos mencionar el retraso en el campo.

### 5.14.1 Tiempo perdido de patio de caña

Podemos observar que el tiempo está concentrado en problemas de Conductores, el segundo mayor tiempo es en falta de alimentación y el tercero en las mesas.

Lo que es importante notar es que el año 97 se redujo el tiempo perdido de cada equipo.

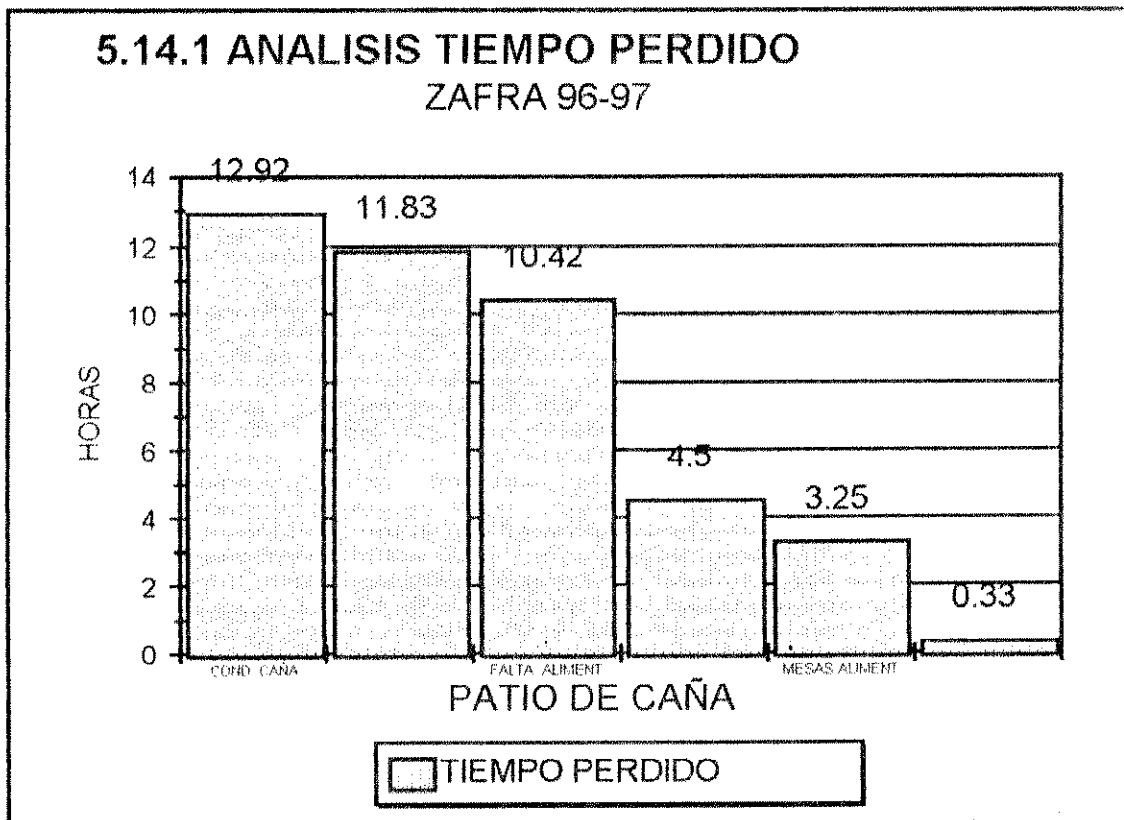


Figura 40

### 5.14.2 Tiempo perdido molinos

También está el mayor tiempo perdido en los Conductores Intermedios, luego el tiempo se distribuye en mazas, turbinas, raspadores pero en menor proporción.

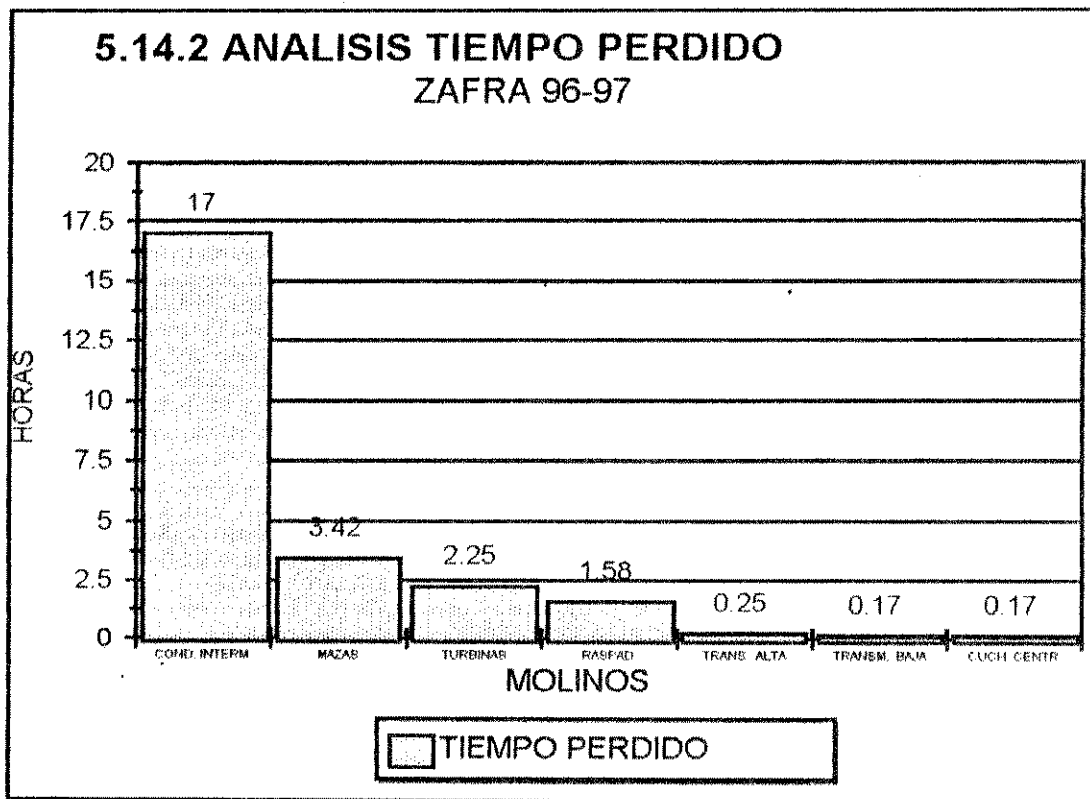


Figura 41



### 5.14.3 Tiempo perdido calderas

Distribuido en mayor proporción a falta de vapor, pero en nuestro caso se debe a problemas de operación.

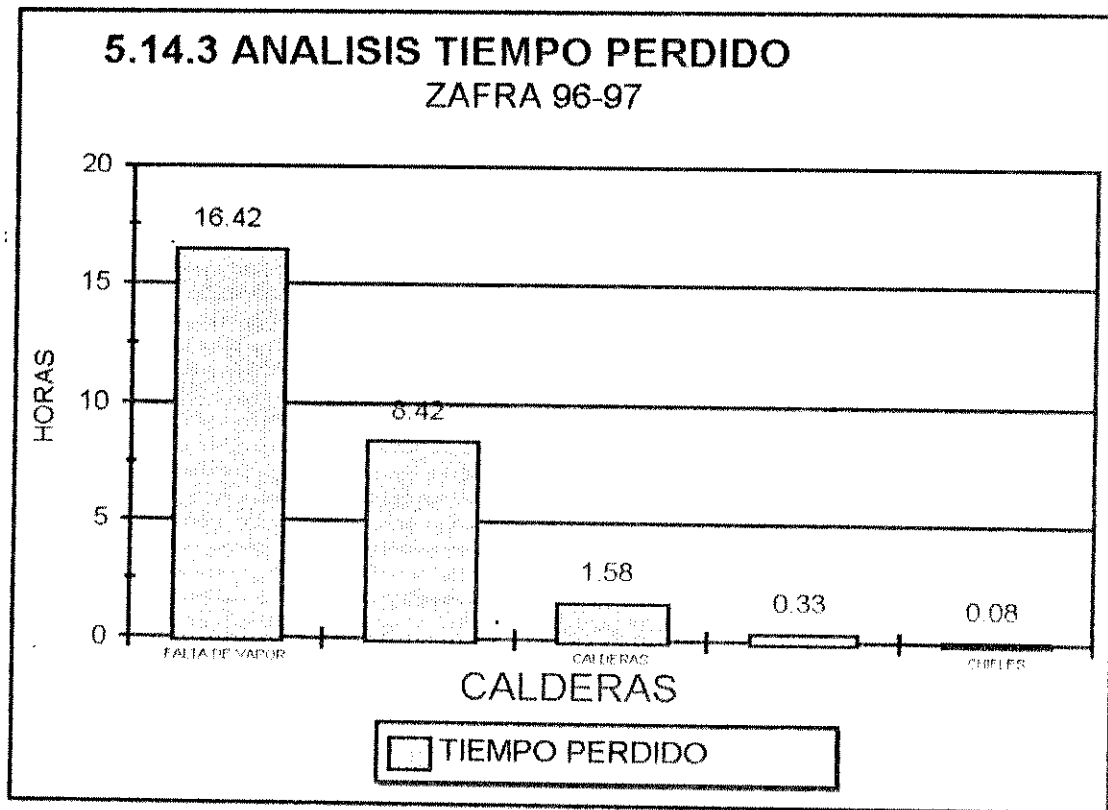


Figura 42

#### 5.14.4 Tiempo perdido departamento eléctrico

: Estos son muy ocasionales, pero de graves daños y mucho tiempo cuando suceden.

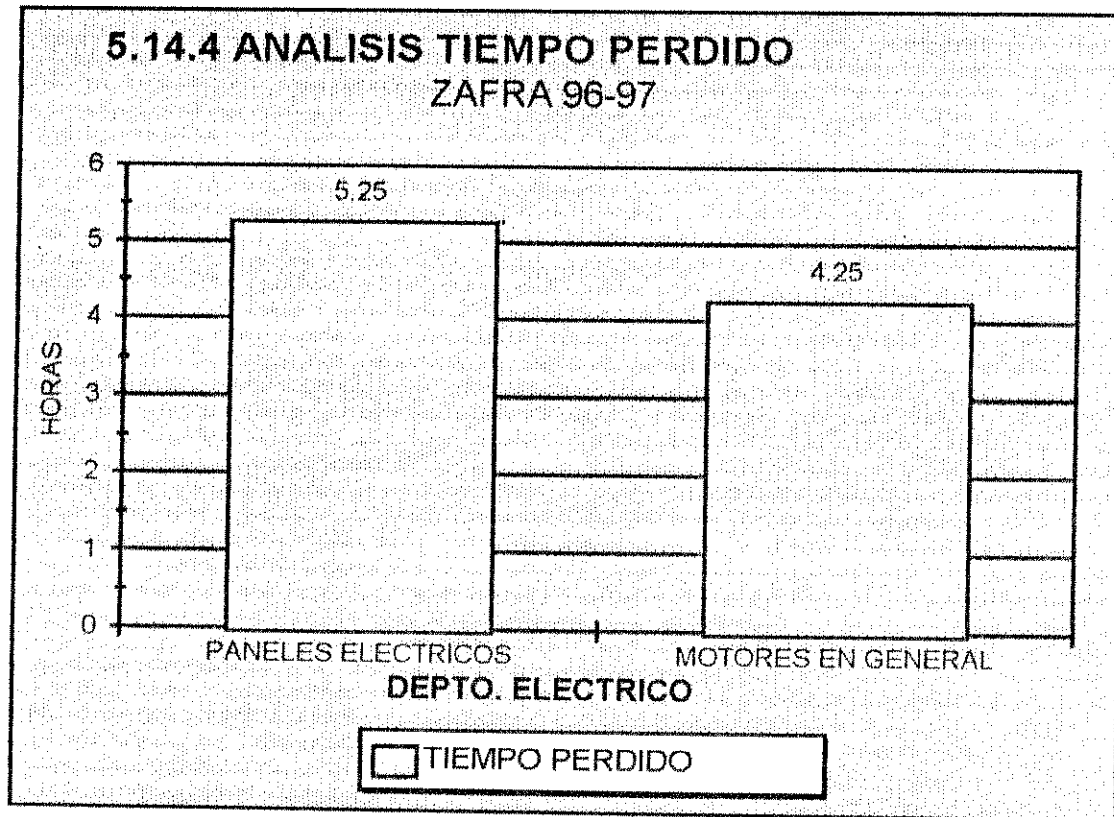


Figura 43

## CONCLUSIONES

1. Es indispensable conocer todos los componentes de un molino para comprender su funcionamiento.
2. Los periodos de lubricación dependen del tiempo y la sobrecarga al diseño original.
3. Los factores más determinantes en la capacidad de un molino son la fibra % de caña y la preparación de picadoras.
4. Las fórmulas de capacidad dan una idea clara del diseño de cada parte del Molino.
5. El ajuste de salida es determinante en la cantidad de caña que alimenta al Molino.
6. Cuando un molino ronronea es porque el cálculo e la altura de la cuchilla central es inadecuado.
7. Las corridas en los molinos son prácticas que el Laboratorio realiza y ayudan a encontrar la operación óptima en un Molino.
8. Por las gráficas de comportamiento podemos decir que para mayor extracción, se debe aplicar mayor cantidad de Agua de Imbibición.

## RECOMENDACIONES

1. Todas las partes de un molino llevan una ubicación previamente calculada, como sucede con los Peines Raspadores ya que de lo contrario trae problemas de desgaste excesivo o desprendimientos mecánicos.
2. La lubricación debe de aplicarse en períodos más cortos cuando estamos trabajando en el molino por arriba de su capacidad de diseño.
3. Para lograr mayor extracción de caña debemos de mantener las picadoras con 75% de preparación mínima lo cual significa una buena extracción con la misma capacidad en los molinos.
4. La aplicación de fórmulas de capacidad deben tener factores de seguridad mayores a 1.5.
5. Cuando un molino no se puede alimentar lo suficiente, debemos de disminuir o reducir el ajuste de salida.
6. El ruido de un molino en la Cuchilla Central se elimina bajando ésta.
7. Las corridas en los molinos debemos de realizarlas a intervalos no mayores de 15 días, ya que nos ayudan a encontrar fallas.

8. La Imbibición ideal debe ser el 30% de caña molida, para lograr las menores pérdidas de sacarosa en el bagazo, pero siempre que la fábrica pueda evaporar tal cantidad de agua.

## REFERENCIAS

1. **W.H. SEVERNS, Energía mediante vapor aire o gas.**  
México: Reverté S.A., 1,980.  
Pags. Varias.
2. **BAUMEISTER MARKS, THEODORE.**  
**Manual del ingeniero mecánico**  
México: Mc Graw-Hill, 1,992.  
Pags. 200 - 300.
3. **J.L. NAYLER y G.H.F., Nayler Diccionario de ingeniería mecánica.**  
Barcelona: Grijalbo S.A., 1,986.  
Pags. Varias

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1. HUGOT, E. Manual Para Ingenieros Azucareros.**  
7a. Impresión. México, Continental, 1,984.
  
- 2. CHEN, James C. Manual Del Azúcar De Caña**  
México: Limusa, S.A. de C.V., 1,991.
  
- 3. GEORGE, P. MEADE Spencer-Meade**  
**Manual del Azúcar de Caña**  
9a. Edición, Barcelona, Montaner y Simón, S.A.1,967.