

Gobernacion de Antioquia

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y FOMENTO

# **INDUSTRIALIZACIÓN DE LA CAÑA**

Compendio No 42 Agosto de 1.981

## **FUNCIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MOLINOS PANELEROS**

**Juan Agustín Abarca \***

### **1. LA INDUSTRIA PANELERA EN COLOMBIA**

La industria de fabricación de panela en el país, a partir de la caña de azúcar, es muy antigua; los principios tecnológicos básicos fueron traídos con la conquista y colonización del territorio. La estructura global del proceso que existía hacia 1.650 solo ha sufrido algunas modificaciones importantes a principios de este siglo, especialmente en los aspectos de molienda. En los últimos años se han realizado algunas investigaciones sobre este proceso»^ aunque esta es amplia en términos de las instituciones que participan, las barreras de tipo presupuesta! y la falta de coordinación entre las mismas, disminuyen los efectos de estas investigaciones. Otros problemas relacionados con el mercadeo y la distribución del crédito afectan aún más el esfuerzo tecnológico.

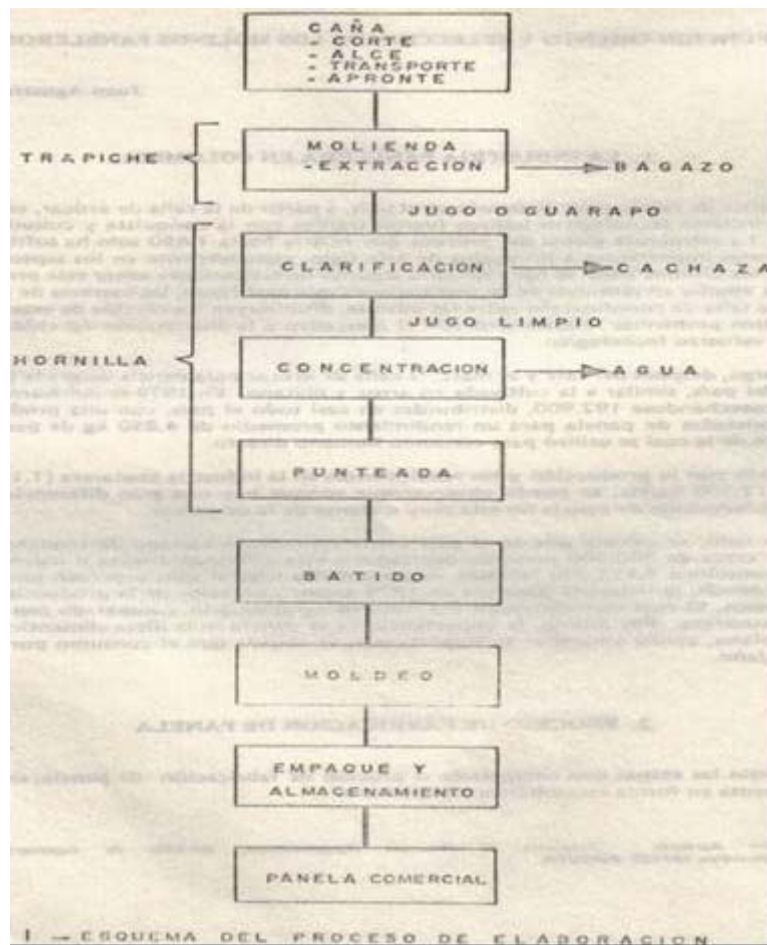
Sin embargo, después del café y el maíz, la caña de azúcar para panela ocupa la mayor área cultivada del país, similar a la cultivada en arroz y plátano. En 1979 se cultivaron 307.400 hectáreas cosechándose 192.900, distribuidas en casi todo el país, con una producción de 935.600 toneladas de panela para un rendimiento promedio de 4.850 Kg. de panela/Ha, la mayor parte de la cual se utilizó para consumo humano directo.

Comparada con la producción y los rendimientos en la industria azucarera (1.134.000 toneladas y 12.500 Kg. /Ha, se puede observar que aunque hay una gran diferencia en rendimiento, la producción de panela no está muy distante de la de azúcar

Por otro lado, se calcula que en el país existe un número elevado de trapiches (más de 40.000), y cerca de 300.000 personas dedicadas a esta actividad directa o indirectamente, las cuales consumen 1.133.000 jornales, requerimiento laboral solo superado por el cultivo de café. Además, la industria panelera en 1979 alcanzó un valor de la producción, 600 millones de pesos, lo cual contribuyó en 2,3 % al PIB agropecuario, comparado con 0,9% de la industria azucarera. Por último, la importancia de la panela en la dieta alimenticia del pueblo colombiano, ayuda a mostrar su importancia-, se calcula que el consumo por habitante es de 26 Kg. /año.

## 2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE PANELA

Son diversas las etapas que comprende el proceso de fabricación de panela; en la Figura 1, se presenta en forma esquemática este proceso.



Dentro del proceso, la molienda determina en un alto porcentaje la cantidad y calidad del jugo que contiene la sacarosa en dilución, materia prima para la fabricación de la panela.

## 3. EL MOLINO PANELERO

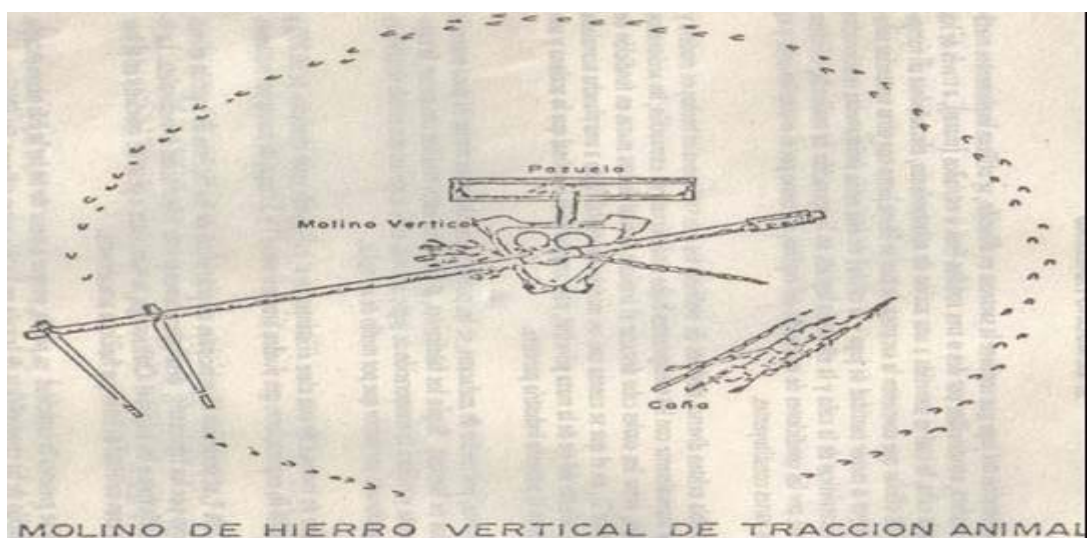
Para la obtención del jugo que contiene la sacarosa en dilución, se utilizan Implementos metálicos o de madera, constituidos por dos o tres rodillos lisos o estriados (mazas). A través de los cuales pasa la caña, la cual es sometida a una acción de aplastamiento, efectuándose un rompimiento de las células que contienen la sacarosa, la cual se libera junto con otras sustancias solubles. La mayor o menor cantidad de jugo y la calidad de éste están íntimamente relacionados con las características de la caña y la eficiencia lograda en la operación de molienda, viéndose afectada ésta por las condiciones de operación del molino, así como por el mantenimiento y estado de sus partes constituyentes.

En Colombia existen diversos modelos de molinos, los más tradicionales hechos en madera y accionados manualmente con los consiguientes bajos rendimientos de extracción; los accionados por animales, entre los cuales cabe destacar el trapiche vertical de tres mazas en fundición el hierro (Figura 2), en el que se cuenta con un madero horizontal fijado a una plancha acanalada en la parte saliente del eje de la maza principal, para amarrar de él el anima! que lo acciona y son muy usados en la pequeña industria panelera.

Últimamente, por medio de malacates, se les puede acondicionar un motor de poca potencia (3-4 caballos de fuerzas). Según los fabricantes, al funcionar estos molinos con motor, la capacidad aumenta y mejora la recuperación de jugo; además, ellos aseguran que es más rentable este molino accionado por motor que por medio de animales.

El número de molinos de esta clase existentes en el país puede estar alrededor de 30.000 y están ubicados en explotaciones que pueden producir entre 1 y 5 cargas de panela por molienda.

Los molinos de tracción mecánica, además de ser accionados por motores de combustión interna, diesel, eléctricos o fuerza "hidráulica, se caracterizan también porque la posición de las mazas es siempre horizontal (Figura 3). El número de mazas para la gran mayoría es de tres, pero existen también de cinco aunque su cantidad es reducida.



La capacidad de estos molinos varía de acuerdo al modelo, entre 1.000 y 26.000 kilos de caña por jornada de 12 horas. La extracción oscila entre 50 y 60% de jugo

con relación al peso de la caña. En la Tabla 2, se presentan las características de los molinos de tracción mecánica con mazas horizontales, de acuerdo a datos suministrados por los fabricantes en sus catálogos.

Si se analiza ésta, se puede ver que se presentan inconsistencias en los valores de los parámetros presentados por los diferentes fabricantes. Un ejemplo puede ser el de la velocidad periférica; los fabricantes presentan valores que no guardan relación alguna con el diámetro de longitud de mazas y mucho menos con la capacidad o rendimiento.

### 3.1 FACTORES QUE DEFINEN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN MOLINO

Los resultados de la operación de molienda son consecuencia de la Interacción que existe entre las características de la materia prima caña y las condiciones de operación de la máquina encargada de efectuar la extracción. Por una parte, factores tales como variedad, madurez y proporción de los componentes básicos de la caña (contenido de fibras, sólidos solubles y agua) y por otra, diámetro, velocidad, aberturas de entrada y salida y el estado de las partes constituyentes de la maquinaria.

TABLA 1 Modelos característicos y precios de los principales molinos de tracción animal o adaptables para tracción mecánica.

Marca	Modelo	Potencia mulas	Dimensiones M. Moyal	Capacidad caña (2h.)	Capacidad panela	Precio Molino 1980
Amagá	No. 7	ND	ND	ND	NI	\$ 15.600
Apala	No. 22	1	Ø 25.4 x 15	1500-3000	200 - 280	\$ 13.000
Chalfonoege	122	1	Ø 30.5 x 15	3000-4000	ND	ND
Chalfonoege	123	2	Ø 35.5 x 18	4000-5000	ND	ND
Gerrey	No.22	ND	ND	ND	ND	\$ 13.000
Tornometal	TM6	ND	ND	ND	ND	ND
Vigle	No.21	ND	ND	ND	180	\$ 9.750
"	No.22 A	ND	ND	ND	360	\$ 11.750
"	No. 22	ND	ND	ND	450	\$ 14.300
"	No. 23	ND	ND	ND	650	\$ 16.200
Zetta	No. 21	ND	ND	ND	150 - 200	\$ 8.500
Zetta	No. 22	ND	ND	ND	250	\$ 11.700

### 3.2. VELOCIDAD Y DIÁMETRO DE MAZAS.

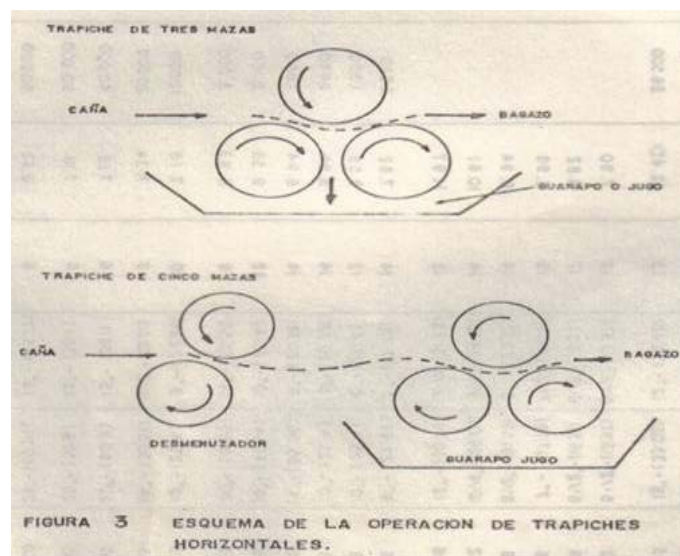
La velocidad de las mazas constituye uno de los factores más importantes sobre el rendimiento de la molienda. Está guarda una relación importante con la capacidad de producción y la extracción, pues al aumentar la velocidad se incrementa la capacidad pero disminuye la extracción ya que la rapidez con que pasa la caña impide que el jugo sea extraído dentro de rangos normales.

La velocidad se expresa normalmente como velocidad periférica (m/min.) y velocidad de rotación (r.p.m.). La primera expresión, involucra el factor diámetro de mazas por cual es útil para comprar molinos de diferente diámetro. De esta forma si se tienen molinos con mazas de igual diámetro, el que tiene mayor velocidad periférica, tiene mayor capacidad. Cuando dos molinos de diámetro diferente e igual longitud están funcionando a igual velocidad periférica, el incremento de capacidad depende únicamente de la mayor cantidad de caña que el de mayor longitud puede recibir a la mayor abertura de trabajo, ya que esta debe ser proporcional al diámetro

Sin embargo, el molino de mayor diámetro puede obtener mayor extracción porque está girando a menor número de revoluciones por minuto, y por tanto, este molino tendrá menores pérdidas de jugo adherido al bagazo, porque este tiene mayor oportunidad de escurrimiento Hugo

De acuerdo a lo anterior, el diámetro del molino está muy relacionado con la velocidad; si se aumenta la velocidad y el diámetro, la capacidad se puede incrementar al cuadrado; al aumentar el diámetro, manteniendo ya velocidad constante, la capacidad aumenta linealmente.

Mendoza y García, encontraron que por cada metro por minuto que se reduzca la velocidad, la extracción aumenta de 1 a 1,5 fe alimentando el molino con igual cantidad de caña,



Marca	Modelo	Potencia del motor (HP)	Long. maza mayor ("-cm)	Diám. maza mayor ("-cm)	Velocidad (R.P.M.)	Vel. periférica (m/min)	Capacidad caha (kg/24h)	Peneo (kg/12 hr)	Rendimiento $\frac{\text{Peneo} \times 100}{\text{Cap.}}$ (%)
Apala	3B	6	8"- (203.2)	7 1/2"- (190.5)	20	11.97	7.500	950	12.67 %
Apala	3C	6	8 1/2"- (21.60)	10"- (25.40)	20	15.96	8.000	1050	13.13 %
Apala	4C	8	9 5/8"- (24.45)	9"- (22.86)	16.5	11.85	12.500	1500	12.00 %
Apala	5	12	10 1/2"- (26.67)	10"- (25.4)	15	11.97	15.000	2.000	13.33 %
Apala	8	15	13"- (33.02)	12"- (30.48)	13	12.41	26.500	3.250	12.26 %
Amagá	15	3	5 1/2"- (13.97)	5 1/2"- (13.97)	18	7.90		356	
Amagá	14	4	6 1/2"- (16.51)	6 1/2"- (16.51)	17	8.62		480	
Amagá	13	6	7"- (17.78)	7 1/2"- (19.05)	15	8.98		864	
Amagá	12D	8	8 1/2"- (21.59)	8"- (20.32)	14	8.94		1056	
Amagá	11D	12	10 1/4"- (26.04)	9 1/2"- (24.13)	14	10.61		1344	
Amagá	10D	16	12"- (30.48)	12 1/2"- (31.75)	12	11.97		2400	
Famagrin	Kid	6	9"- (22.86)	7"- (17.78)	14	7.62	1020	60**	5.88 %
Famagrin	vinador	8	10"- (25.4)	10"- (25.4)	12	9.55	1500	100	6.67 %
Famagrin	junior	8	10"- (25.4)	8"- (20.32)	14	8.94	1440	90	6.25 %
Famagrin	super-junior	10	14"- (35.56)	8"- (20.32)	14	8.94	1680	105	6.25 %
Famagrin	super-senior	16	16"- (40.64)	10"- (25.4)	12	9.55	2100	150	7.14 %
Famagrin	gigante	25	20"- (50.80)	14"- (35.56)	8	6.93	3.000	300	10.00 %
Gaitan	3 mazas	7.5	10"- (25.4)	9"- (22.86)	10	7.18	12.000		--
Gaitan	3 mazas	15	14"- (35.56)	11 1/2"- (29.21)	8	7.34	20.000		
Gaitan	3 mazas	30	20"- (50.8)	15"- (38.1)	6	7.18	40.000		
Gaitan	5 mazas	45	20"- (50.8)	15"- (38.1)	6	7.18	50.000		
Gaitan	3 mazas	50	24"- (60.96)	18"- (45.72)	6	6.62	60.000		
Gaitan	5 mazas	65	24"- (60.96)	18"- (45.72)	6	6.62	80.000		

\* Las especies corresponden a datos no especificados por los fabricantes

CONTINUA

\*\* La capacidad de molienda y producción de panal de Famagrin y Maxepiel se encuentran en kilos por hora.

Tabla N°2. Algunos modelos de molinos fabricados en el país, con sus principales características.

Marca	Modelo	Potencia del motor [HP]	Long. maza mayor (")-cm)	Diám. maza mayor (")-cm)	Velocidad (R.P.M.)	Vel. periférica (m / min)	Capacidad caño (kg/12 hr)	Paneles (kg/12 hr)	Rendimiento Panela x 100 %
Apolo	3B	6	8"- (203.2)	7 1/2"- (190.5)	20	11.97	7.500	950	12.67 %
Apolo	3C	6	8 1/2"- (21.60)	10"- (25.40)	20	15.96	8.000	1050	13.13 %
Apolo	4C	8	9 5/8"- (24.45)	9"- (22.86)	16.5	11.85	12.500	1500	12.00 %
Apolo	5	12	10 1/2"- (26.67)	10"- (25.4)	15	11.97	15.000	2.000	13.33 %
Apolo	8	15	13"- (33.02)	12"- (30.48)	13	12.45	26.500	3.250	12.26 %
Amagá	15	3	5 1/2"- (13.97)	5 1/2"- (13.97)	18	7.90		336	
Amagá	14	4	6 1/2"- (16.51)	6 1/2"- (16.51)	17	8.82		480	
Amagá	13	6	7"- (17.78)	7 1/2"- (19.05)	15	8.98		864	
Amagá	12D	8	8 1/2"- (21.59)	8"- (20.32)	14	8.94		1056	
Amagá	11D	12	10 1/4"- (26.04)	9 1/2"- (24.13)	14	10.61		1344	
Amagá	10D	16	12"- (30.48)	12 1/2"- (31.75)	12	11.97		2400	
Fomagrin	Kid	6	9"- (22.86)	7"- (17.78)	14	7.82	1020	60**	5.88 %
Fomagrin	vencedor	8	10"- (25.4)	10"- (25.4)	12	9.58	1500	100	6.67 %
Fomagrin	junior	8	10"- (25.4)	8"- (20.32)	14	8.94	1440	90	6.25 %
Fomagrin	super-junior	10	14"- (35.56)	8"- (20.32)	14	8.94	1580	105	6.25 %
Fomagrin	super-senior	16	16"- (40.64)	10"- (25.4)	12	9.58	2.100	150	7.14 %
Fomagrin	gigante	25	20"- (50.80)	14"- (35.56)	8	8.93	3.000	300	10.00 %
Geiton	3 mazas	7.5	10"- (25.4)	9"- (22.86)	10	7.18	12.000		--
Geiton	3 mazas	15	14"- (35.56)	11 1/2"- (29.21)	8	7.34	20.000		
Geiton	3 mazas	30	20"- (50.8)	15"- (38.1)	6	7.18	40.000		
Geiton	5 mazas	45	20"- (50.8)	15"- (38.1)	6	7.18	50.000		
Geiton	3 mazas	50	24"- (60.96)	18"- (45.72)	6	8.62	60.000		
Geiton	5 mazas	65	24"- (60.96)	18"- (45.72)	6	8.62	60.000		

\* Los espacios corresponden a datos no especificados por los fabricantes

CONTINUA

\*\* La capacidad de molienda y producción de panela de Fomagrin y Haxpiel se encuentran en kilos por hora.

Tabla N° 2. Algunos modelos de molinos fabricados en el país, con sus principales características.

Hugo, afirma que se puede eliminar el efecto de la velocidad sobre la extracción, si a medida que se aumenta la velocidad se aumenta proporcionalmente la rapidez de alimentación; sin embargo, esto trae como consecuencia un incremento exagerado del consumo de potencia.

Respecto a las recomendaciones sobre velocidad óptima del molino, no existe uniformidad de criterio. Quiñones y Quintero, estiman que una velocidad superior a 6 r.p.m es excesiva pues hay forzamiento de la máquina y se presenta pérdida de jugo ya que este no alcanza a escurrir en su totalidad.

Mejía, sugiere en cambio que una velocidad de 10 r.p.m en promedio es óptima para la molienda

León, Mendoza y Porras, lograron establecer en un molino experimental de tres mazas, que el mayor porcentaje de extracción 60 % se obtenía con una abertura de 3 mm en la quebradora y 1 mm en la repasador, utilizando una

velocidad periférica de 4 m/mm. para un diámetro de mazas de 13,5 pulgadas (34,29 cm.). Sin embargo, recomiendan una velocidad periférica de 8 a 12 m/mm. En esta experiencia solo se tuvo en cuenta la extracción, sin involucrar la capacidad.

Fonseca con un molino Apolo 4 C de diámetro de mazas 9" (22,86 cm.) obtuvo, utilizando diferentes aberturas, que el mayor porcentaje de jugo extraído se consiguió utilizando una velocidad de rotación de 8 r.p.m (5,74 m/min.), con una abertura de 8 mm a la entrada de la caña y 2 mm a la salida del bagazo. En otros ensayos, utilizo velocidades de rotación superiores, aberturas similares o mayores obteniendo porcentajes de extracción de 54,33 a 64,35%. La utilización de abertura de 8 y 2 mm en el par quebrador y repasador respectivamente, fajo consigo problemas de atascamiento.

Tromp, citado por Hugo, en lo relacionado a las máximas velocidades, da como velocidad periférica límite:

Nótese que Tromp está implícitamente de acuerdo, al concluir en su expresión un límite real de la velocidad de rotación; ya que  $V = 7 \cdot D \cdot N$

Luego  $N = \frac{18}{D}$

II

Ecuación 2

o sea  $N = 5,73 \text{ r.p.m}$

Hugo, al referirse a una compañía constructora de molinos, dice que ésta utiliza una velocidad determinada por la fórmula

$N = 6,37 - 0,56 D$

Ecuación 3

Donde N: velocidad de rotación en .p.m

D: diámetro de (as mazas en m

En las fábricas azucareras existe gran disparidad de criterios sobre velocidad, así por ejemplo:

En lava :	entre 1,5 y 3,5 r.p.m
En Hawai:	entre 2,5 y 4 r.p.m
En Cuba :	entre 2,5 y 5 r.p.m

Las velocidades bajas usadas en los ingenios se compensan con la colocación de molinos en serie y los sistemas de preparación lo cual permite aumentar la capacidad

### 3.3. ABERTURA ENTRE MAZAS

Conocida también como ajuste, es la separación existente entre el par quebrador (mayal y quebradora) y el par repasador (mayal y repasadora), y la cual manejada convenientemente permite mejorar la extracción de jugo. El ajuste de mazas no debe ser excesivo ya que el jugo puede ver afectada su calidad al mezclarse con sustancias colorantes y gomas presentes en la caña que impiden la formación de los cristales de sacarosa, desmejorando la calidad de la panela.

Grandes pérdidas se producen en los molinos por deficiencias en la extracción, debidas a la utilización de aberturas incorrectas. Mientras que en la industria azucarera el porcentaje de sacarosa contenido en el bagazo es de 1-3 % en la industria panelera oscila entre 9-15 %.

Fonseca ( ), en sus investigaciones con un molino Apolo 4 C (22,86 cm. de diámetro), obtuvo el máximo porcentaje de extracción bajo las siguientes condiciones: velocidad de mazas: 8 r.p.m, abertura de 8 mm. en la quebradora y 2 mm en la repasadora. El más bajo porcentaje de extracción (53.03) lo obtuvo con 8 r.p.m, 10 mm en la quebradora y 5 mm en la repasadora.

Pese q que con las primeras condiciones se obtuvo el mayor porcentaje de extracción, se encontraron los siguientes inconvenientes:

- .1. El molino detenta su marcha con cañas relativamente gruesas.
- .2, El bagazo no era el más adecuado para la combustión, pues salía muy deshecho.
- .3 El jugo obtenido contenía mucha suciedad en especial de bagacillos de caña, requiriéndose una prelimpieza antes de su utilización.
- .4 En las estrías de las mazas se depositan fibras de bagazo disminuyendo su capacidad de extracción.

Fonseca ( ), recomienda utilizar una abertura de 8 mm en la quebradora 3 mm en la repasadora y 8 r.p.m con la que obtuvo 61,5% de extracción. Este ensayo no tuvo en cuenta la capacidad.

Mendoza y García, recomiendan utilizar un ajuste de 3 mm en la quebradora y 1 mm en la repasadora. Esta investigación se realizó en un molino experimental de 2 mazas y no tuvo en cuenta la capacidad.

### 3.4. LONGITUD DE MAZAS

La capacidad de un molino está relacionada con la longitud de las mazas Se ha encontrado que un aumento de la longitud produce incremento de la capacidad Así mismo, una mayor longitud de mazas, representa un incremento en el diámetro de éstas por consideraciones de diseño. La relación entre longitud y diámetro debe cumplir que

Donde: L es la longitud y D es el diámetro.

El aumento en la longitud implica también un mayor diámetro del eje de las mazas por efecto de diseño.

Todo molino trae consigo un portacaña que reduce la longitud nominal de las mazas mayal y quebradora; sí no existiera esta reducción, las mazas de todas formas traen disminución de su longitud debido a las siguientes razones:

- .1. La maza mayal tiene pestañas a lado y lado entre las cuales se colocan la quebradora y la repasadora,
- .2. La cuchilla tornabagazo posee unas pestañas que guían el bagazo hacia el centro, efectuando una nueva reducción.

En los molinos se acostumbra reducir aún más la entrada con la colocación de tacos de madera en el portacaña, reduciendo la longitud útil; la razón por la cual se hace es porque muchas veces se dispone de exceso de potencia en el motor, por lo cual se podría introducir más caña y muchas veces la hornilla no alcanza a procesar el jugo obtenido; o bien por proteger al operario.

Así mismo existen otros factores de operación que influyen sobre el comportamiento de la máquina pero son difíciles de cuantificar, entre otros. Rayado de las mazas, desgaste de las mismas y la posición de los raspadores y cuchilla tornobagazo.

### 3.5. EFICIENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL MOLINO

La eficiencia de funcionamiento de un molino está definida por tres términos: capacidad, extracción y potencia.

La capacidad es la cantidad de caña que el molino es capaz de moler por unidad de tiempo; la extracción corresponde a la cantidad de sacarosa recuperada del total contenido por la caña, de acuerdo a sus condiciones. Potencia, es la fuerza necesaria para accionar el molino.

Diversos autores afirman que la capacidad es inversamente proporcional a la extracción; esto significa que, a mayor cantidad de caña molida por unidad de tiempo, la extracción disminuye, para las mismas condiciones de operación del molino. Se debe buscar el punto que permita equilibrar los términos sin llegar a efectuar, obviamente, el consumo de potencia; el punto donde se logre este equilibrio constituye el uso más eficiente que se le puede dar a un molino.

A continuación se analizan en detalle los factores antes mencionados, explicando en cada uno de ellos, las variables que los modifican y la forma de determinar estos factores.

#### 3.5.1. Capacidad

La capacidad de los molinos está definida como la cantidad de caña que éste es capaz de moler por unidad de tiempo, y se expresa generalmente como toneladas de caña por hora o por día.

Estas dos expresiones no son equivalentes directamente, ya que la primera implica que no hay interrupción del funcionamiento del molino en la hora en que se considera; en el segundo caso, no se deducen las pequeñas interrupciones y se desprecian las que generalmente se presentan y que pueden durar de diez a veinte minutos. Se considera que en un buen proceso de molienda no se debe perder más de 1 % del tiempo de operación.

López Ferrer (4), afirma que la expresión de capacidad, como la cantidad de caña molida por unidad de tiempo, tiene el inconveniente de no considerar el grado de extracción; por esta razón, en la práctica, la capacidad de un molino se debe determinar teniendo en cuenta la mayor extracción posible de jugo, pues es claro que la capacidad

se puede aumentar si se relega la extracción a segundo término; o al contrario, se puede aumentar la extracción sacrificando la molienda.

Los factores que determinan la capacidad son numerosos, según varios autores-, los más importantes son:

#### 3.5.1.1. Contenido de fibra de la caña

La resistencia de ésta a la acción de las mazas es más o menos proporcional a la cantidad de fibra contenida por la caña antes de la molienda.

#### 3.5.1.2. Dimensiones y velocidad de las mazas

La cantidad de bagazo es evidentemente proporcional al producto del grueso del colchón de bagazo que se forma, por el área descrita por una generatriz en la unidad de tiempo, es decir:  $H L n D$ . Como  $H$  debe ser proporcional a  $D$ , el tonelaje variará como  $L n D^2$  es decir, es proporcional a la velocidad ( $n$ ), a la longitud ( $L$ ) y al cuadrado del diámetro de las mazas ( $D^2$ ).

#### 3.5.1.3. Número de mazas

Este es un factor menos evidente pero muy importante, y se puede decir que en una batería corta, el grueso del colchón de bagazo se debe reducir para obtener una extracción satisfactoria; en una batería larga, el grueso del colchón se debe aumentar en proporción al largo de ella. Para este caso, la capacidad está sujeta al mínimo valor permisible de extracción.

#### 3.5.1.4. Preparación de la caña

Está demostrado que la acción de los aparatos de preparación (cuchillas o desmenuzadoras) aumentan la capacidad.

Además de estos, considerados como los más importantes existen otros factores que también inciden sobre la capacidad: Imbibición, ranurado de las mazas, aberturas entre el par quebrador y el par repasador, diseño y condiciones de los molinos, y en el caso de los molinos de tres mazas el personal encargado de la alimentación.

#### 3.5.1.5. Medida de la capacidad

Varias expresiones han sido propuestas por diferentes autores para determinar la capacidad de un molino de un ingenio azucarero, basados en la relación de este factor con las características de la máquina y de la caña. Sin embargo, en el caso de los molinos paneleros, estas expresiones son de limitada aplicación por las grandes diferencias que existen entre las condiciones de molienda de los ingenios azucareros y los trapiches.

Por esta razón, el Programa de Procesos Agropecuarios del ICA, llevó a cabo un trabajo que permitió desarrollar una expresión para calcular la capacidad de un molino panelero:

$$C = -2205,73 + 169,96 D + 73,70 V + 47,65 A + 136,79 A_s - 4,142,36 L - 7,35 f.$$

Ecuación 4

Donde:

- C = Capacidad (toneladas de caña/hora)
- D = Diámetro de la maza mayal (pulgadas)
- V = Velocidad periférica Del molino (m/min.)
- A = Ajuste a la entrada de la caña (mm)
- A<sub>s</sub> = Ajuste a la salida del bagazo (mm)
- L = Longitud de alimentación (pulgadas)\*
- f = Fibra de la caña (%).

### 3.5.2. Extracción

La cantidad y calidad del jugo extraído de la caña, depende principalmente de los siguientes factores: Preparación y características de la caña, diámetro, velocidad, ajustes y longitud de alimentación del molino; y en la industria azucarera, el número de mazas e imbibición.

#### 3.5.2.1. Preparación

En la industria azucarera se cuenta con sistemas que permiten acondicionar la caña para facilitar el trabajo de los molinos y mejorar su eficiencia de extracción; esta fase de preparación incluye labores de limpieza y lavado de la materia prima, corte en secciones, desfibrado y/o desmenuzamiento, de manera que cuando el producto entra al primer molino se encuentra en una forma tal que la labor efectuada por éste y los subsiguientes es exclusivamente de extracción; además que con estos sistemas de preparación se logra moler grandes tonelajes de caña.

Las máquinas de preparación son: Las cuchillas giratorias que fraccionan la caña, la desmenuzadora que se encarga de romper la caña y dejar expuesta su estructura interna lo cual facilita la extracción (esta máquina que no es propiamente de extracción, sin embargo, permite obtener hasta un 60 % del jugo), y la desfibradora que rasga la caña y la convierte en tiras sin efectuar extracción.

Aunque no es el tema de este artículo, cabe aclarar que los sistemas de preparación empleados en la industria azucarera, facilitan enormemente el trabajo de la batería de

molinos y es una de las razones por las que se puede obtener valores de extracción tan altos. En la industria panelera, donde solo se cuenta con el molino de tres mazas, éste debe realizar la labor del sistema de preparación (similar al trabajo de la desmenuzadora), y a la vez efectuar la extracción; por esta razón, se puede pensar que los niveles de extracción obtenidos de estas máquinas están enmarcados dentro de valores racionalmente aceptables.

#### 3.5.2.2. Características de la caña

De los componentes de la caña, son tres los que inciden sobre los resultados de la molienda: El contenido de fibra, la riqueza de sacarosa, y el contenido de agua de la caña en el momento de la molienda. La proporción en que se presentan estos, está condicionada a la variedad, tipo de suelo, forma de cultivo, condiciones climáticas y ecológicas, así como al grado de madurez en que se encuentra la caña, entre otros. Es así, como cultivos de caña realizados en la misma zona y con la misma variedad, molidos bajo las mismas condiciones de la máquina, pueden presentar rendimientos diferentes durante la extracción.

De todas maneras, algunos autores, entre ellos Noel Deer, citado por Hugo, afirman que la extracción se reduce a medida que el contenido de fibra aumenta. En cuanto a la riqueza de sacarosa, Mithal, anota que la extracción aumenta con el aumento de la sacarosa contenida por la caña. Así mismo, mayores cantidades de agua presente en la caña, facilitan el arrastre de la sacarosa y producen aumento en la extracción,

#### 3.5.2.3, Condiciones de operación del molino

Los resultados de la molienda se ven afectados por la forma como se opere el molino. El diámetro de éste, factor menos evidente ya que el tamaño del molino se selecciona en base a factores diferentes, incide sobre la extracción, debido a *que* un mayor diámetro ofrece una mayor superficie de contacto y un mayor tiempo de permanencia de la caña dentro del molino, lo cual permite pensar en un incremento de la extracción.

La velocidad de las mazas es inversamente proporcional a la extracción; León y colaboradores, encontraron que por cada metro por minuto que se reduzca la velocidad, la extracción aumenta en 1 a 1,5% alimentando el molino con igual cantidad de caña.

Por otra parte, la presión que recibe la caña durante la molienda, está dada por la abertura (ajustes) entre las mazas, y la longitud de alimentación, la cual permite introducir más o menos cañas variando la presión lateral que ejercen unas contra otras. La acción de estas dos variables hace que la caña sea más o menos exprimida afectando, obviamente, los resultados de extracción.

En la industria azucarera, la distancia entre las mazas está dada por el grueso del colchón de bagazo; sin embargo, existe una gran diferencia: el sistema hidráulico de los molinos hace que se mantenga la misma presión sobre el bagazo independiente de su espesor, eliminando en cierta forma el efecto de los ajustes, tan marcado en la industria panelera.

#### 3.5.2.4. Imbibición

En la industria azucarera es el factor que más influye, pero implica que se debe disponer de más de un molino de tres mazas en el sistema de molienda. El proceso consiste en adicionar agua (fría o caliente) al bagazo, después del primer molino, con el fin de facilitar el arrastre de la sacarosa contenida por ese. Si además de agua se agrega jugo bien diluido, el proceso se llama imbibición compuesta; con este procedimiento se logra mejorar la extracción de sacarosa de 86 a 97 %

### 3.5.2.5. Eficiencia de extracción

Quiñones, afirma que un molino panelero está funcionando correctamente cuando se extrae del 55 a 60 de jugo con relación al peso de la caña, o sea que utiliza como medida de la eficiencia del molino, la cantidad de jugo que se puede obtener con relación al peso de la caña.

La Sociedad Internacional de Tecnólogos de Azúcar de Caña, eliminó este término como medida de la eficiencia de los molinos, por considerar que no tiene en cuenta para nada las características de la caña por lo que un mismo molino trabajando aún con cañas de la misma variedad, puede presentar diferentes eficiencias de acuerdo al contenido de fibras y sacarosa de la caña.

Otro término utilizado frecuentemente y que es un indicativo de la eficiencia del molino, es el denominado "extracción de sacarosa", que indica la cantidad de sacarosa que se obtiene con relación a la contenida por la caña, o sea:

$$E = \frac{\text{sacarosa del jugo}}{\text{Sacarosa de la caña}} \times 100$$

Ecuación

Esta ecuación conduce a un error menos significativo por tener en cuenta la sacarosa recuperada que es, al fin y al cabo, el producto importante en el proceso de elaboración, Pero, la única manera como se pueden comparar varios molinos que están trabajando con caña de diferentes condiciones, es teniendo en cuenta el contenido de fibra. Noel Deer, propuso una fórmula para deducir la extracción, llevando la fibra de la caña a una base común de 12,5%- este término se determina extracción reducida de Deer.

$$E = 100 - \frac{\text{Guarapo absoluto en bagazo \% fibra}}{\text{Ecuación}} \quad 6$$

Donde, guarapo absoluto en bagazo %

fibra.

$$= \frac{\text{extracción sacarosa (Pol)} \times (100 - \text{fibra \% caña})}{\text{Ecuación 7}}$$

Ecuación 7

Fibra % caña

Otra ecuación que se puede utilizar, por tener en cuenta tanto la fibra como la riqueza de la caña, es la relación de extracción:

$$\text{Relación de extracción} = \frac{(100 - \text{extracción})}{\text{Fibra \% caña}} \times 100$$

n 8 Ecuación

Fibra % caña

En java se utiliza un término que se está imponiendo internacionalmente, como medida de eficiencia de extracción de los molinos; es denominado jugo perdido % de fibra:

$$= \frac{\text{Brix del bagazo} \times 10.000}{\text{Brix del jugo primario} \times \text{fibra \% del bagazo}}$$

Ecuación 9

Brix del jugo primario x fibra % del bagazo

$$\text{Donde Brix del bagazo} = \frac{\text{azúcar \% bagazo}}{\text{Pureza del jugo del último molino}}$$

Ecuación 10

Pureza del jugo del último molino

Las anteriores ecuaciones, han sido aprobadas por la Sociedad Internacional de Tecnólogos del Azúcar y las mencionan en sus métodos, como los factores que sirven para medir la eficiencia de los molinos. Spencer y Meade y Hugo,

Es necesario mencionar que la evaluación de extracción en peso de jugo se puede utilizar como un indicativo del funcionamiento del molino, cuando se disponga solamente de una balanza, ya que para utilizar los otros métodos, es necesario realizar análisis químicos para obtener la composición de la caña y sus subproductos.

Sin embargo, se hace necesario desarrollar una expresión para los molinos paneleros, que involucre los factores de máquina y caña con la cual se pueda evaluar la extracción de sacarosa realizada por estas máquinas.

### 3,5.3. Potencia

Desde el punto de vista de la potencia requerida por el molino, esta se encuentra supeditada a las características de la caña en términos de contenido de fibra, ya que valores altos de ésta incrementan la resistencia al aplastamiento; así mismo, el grosor y dureza de la caña y su corteza, en el caso del molino panelero, ocasionan fluctuaciones en el consumo de potencia.

Por otra parte, la máquina exige una determinada cantidad de potencia para su funcionamiento, la cual esta representada por:

- .1. Potencia consumida por la compresión de la caña.
- .2. Potencia consumida por la fricción de los cojinetes.
- .3. Potencia consumida por la fricción de los raspadores y la cuchilla tornabagazo.
- .4. Potencia consumida por los engranajes.

Comparativamente, los consumos de potencia de los molinos en la industria panelera pueden ser mayores que en la industria azucarera, dada la forma como se muele la caña y las deficiencias en el mantenimiento y ajuste de las partes del molino, así como por los problemas durante la alimentación, que sobrecargan la máquina o producen atascamientos.

Varias expresiones han sido desarrolladas para determinar el consumo de potencia de los molinos en los ingenios azucareros; una vez más, estas expresiones son de limitada aplicación en el caso de los trapiches. Por esta razón, el programa de Procesos Agropecuarios del ICA, desarrolló una expresión para la potencia consumida por los molinos paneleros:

$$P = -17,09 - 1,100 + 0,47 V + 0,33 A_e - 1,82 A_s + 1,41 L + 0,30 f$$

Ecuación 11

Donde:

- P = Potencia nominal consumida por el molino (HP)
- D " Diámetro de la maza mayal (pulgadas)
- V - Velocidad de las mazas (m/min.)
- A\_e = Ajuste a la entrada de la caña (mm)
- A\_s = Ajuste a la salida del bagazo (mm)
- L = Longitud de alimentación (pulgadas)
- f - Fibra de la caña (porcentaje)

#### 4. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DE MOLINOS

La selección de un molino depende principalmente de la producción de caña, de las frecuencias de las moliendas, de los costos de los equipos, instalaciones y de mano de obra entre otros.

De acuerdo a la extensión cultivada en caña, a los rendimientos promedios de la región y a la duración del periodo vegetativo del cultivo en la zona, se puede calcular la cantidad de caña a moler anualmente.

Teniendo estimada la cantidad de caña a moler anualmente, el siguiente paso es determinar cuantas meriendas se van a realizar en el año; con esto se encuentra el

número de toneladas a procesar pos molienda, determinando en horas o días cuál es el tiempo de trabajo, por molienda

Con los anteriores datos, se conoce cuantas toneladas de caña se van a moler por horas o jornada de trabajo, valor este que sirve para seleccionar el molino en los catálogos de los lubricantes donde se encuentra la capacidad de los molinos en toneladas de caña por día o por hora, y características diferentes de la caña.

En la selección del molino, es necesario tener en cuenta tanto los costos del molino como los del motor e instalaciones, hornillas y enramada, además del costo de la mane de obra. En la región, ya que puede ser más rentable la inversión en instalaciones y equipos de mayor tamaño que implican mayor costo pero que pueden brindar mayor capacidad o extracción por unidad de tiempo de trabajo. También puede que sea rentable disponer de equipos de mediana o baja capacidad en los cuales, para producir igual cantidad de panela, se va a requerir más tiempo.

Cuando no se conoce la cantidad de caña que se produce por unidad de superficie (hectárea, fanegada), pero se conoce o se estima la cantidad de panela que pueden producir estas unidades de superficie, los cálculos para selección del molino se pueden hacer de acuerdo a este dato, ya que una tonelada de caña puede producir entre 90 y 110 Kg. de panela.

20 Ha 70 t/Ha 18 meses 1 cada 3 sem. 12 horas

Ejemplo sobre cómo seleccionar un molino:

- .1. Extensión cultivada en caña
- .2. Rendimiento promedio esperado en la región:
- .3. Período vegetativo del cultivo en la región:
- .4. Frecuencia de molienda:
- .5. Duración diaria de la molienda:

De acuerdo a lo anterior, se tiene que 20 hectáreas pueden producir en la región 1.400 toneladas de caña en 18 meses; esto significa que, mensual mente se deben moler aproximadamente 80 toneladas o sea 960 toneladas anualmente. Cuando se está moliendo cada tres semanas, esto significa que durante el año se van a realizar 17 moliendas de 56 toneladas de caña.

Si se estima como base 12 horas de molienda diarias, la selección del molino se hace como se muestra en la Tabla 3.

**TABLA 3. Selección de molino de acuerdo a los días de molienda**

No. días	Toneladas Caña/hora	Toneladas Caña/día	M o d e l
			,

2	2,333	27,999	12"	x 12"	ó	12" x 13"
3	1,555	18,666	10"	X 10"	ó	12" x 10"
4	1,166	13,992	9"	x 9"	ó	9" x 10"
5	0,933	11,199	8"	x 10"	ó	8" x 9"
6	0,777	9,114	8"	x 8"	ó	7" x 9"

En el modelo, el primer número indica el diámetro de la maza y en el segundo la longitud; los datos sobre capacidad, se tomaron en forma un poco apreciativa, debido a la falta de consistencia de los valores suministrados por los fabricantes (Tabla 2).

En forma similar, se pueden seleccionar los molinos para explotaciones con área cultivada, frecuencia de molienda y tiempo de operación diferentes.

Si se encuentra que el molino escogido tiene demasiada capacidad con relación a la hornilla, como sucede en la mayoría de los que están funcionando actualmente, donde en algunos trapiches, el molino trabaja media hora y permanece parado otra media hora, o sea, el tiempo muerto es de 50 por ciento del total, lo más recomendable es tratar de compensar la capacidad de la hornilla con la del molino, para obtener una mayor eficiencia de los equipos y evitar las pérdidas de sacarosa del jugo por inversión en los pozuelos. Existen dos soluciones principales para este problema: la primera es darle mayor capacidad a la hornilla, lo cual se puede lograr aumentando el número de pailas y la segunda disminuyendo la capacidad del molino.

La disminución de la capacidad del molino se puede obtener de tres maneras:

a) Disminuyendo la velocidad del molino y dejando constante el ajuste, b) Disminuyendo las aberturas de trabajo (ajuste) y dejando constante la velocidad, c) Disminuyendo ambas; sin embargo, se recomienda disminuir la velocidad y no el ajuste por las siguientes razones:

- 1 Si se disminuye velocidad, la potencia consumida disminuya; caso contrario sucede con el ajuste.
2. El desgaste del molino se reduce,
- 3 La alimentación se puede aumentar y además se puede realizar en forma más uniforme.
- 4 En ambos casos, la extracción se incrementa y la capacidad disminuye.
- 5 El ajústese puede reducir, hasta el punto en el cual la alimentación del molino comience a presentar problemas.

Como cambiar la velocidad del molino:

La velocidad del molino se puede cambiar de cuatro maneras'

a) Acelerando o desacelerando el motor

- b) Aumentando o disminuyendo el diámetro de la polea de' motor
- c) Aumentando o disminuyendo el diámetro de la polea del molino
- d) Con un eje intermedio o un variador de velocidad

El primero de los casos es el más fácil de realizar, sin embargo, hay que tener en cuenta, que el motor debe funcionar a la velocidad en & cual su eficiencia sea máxima, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

Cambiar el diámetro de la polea del motor puede ser más factible, pero la potencia transmitida por la correa disminuye, a medida que el diámetro de la polea se reduce.

Cambiar el volante del molino tiene ventajas tales como darle mayor. Inercia y utilizar mejor la transmisión de potencia para la correa, pero puede resultar bastante costoso por los cambios a realizar si el molino ya esta instalado.

Con eje intermedio, se pueden utilizar motores de mayor número de revoluciones (1.800 ó 3.600) como es él caso de los motores eléctricos.