

## DESEMPEÑO Y RENDIMIENTO DE LOS MOLINOS PANELEROS.

\* Hugo Reinol García Bernal

### INTRODUCCION

La extracción del jugo de la caña o molienda de la misma, inicia las operaciones del proceso de elaboración de panela. Unas 150.000 toneladas de panela son producidas anualmente en cerca de 35.000 trapiches dotados con molinos de tracción animal. La mayor parte de este tipo de implementos han sido construidos en hierro fundido (Fig. ) y los de madera o piedra están desapareciendo y su contribución a la producción nacional es prácticamente despreciable. Los molinos de hierro se construyen en tamaños para uno y dos animales (2, 3).

Se estima que las 550.000 toneladas restantes, se producen en unos 12.000 trapiches con molinos accionados mecánicamente. Más del 99% tiene 3 mazas (Fig. ) y solamente un número muy pequeño posee cinco (1,5). En Colombia existen 11 fábricas de molinos que producen, cada una, de cuatro a ocho modelos de diferente tamaño.

### EXTRACCION, CAPACIDAD Y CONSUMO DE POTENCIA

La conjugación en forma adecuada de los anteriores términos permite obtener el desempeño y rendimiento óptimos de los molinos paneleros. Por una parte los técnicos del sector panelero han visto la extracción como la medida de la eficiencia de los molinos y por otra parte

---

\* I.A., M.Sc. Coordinador Regional CIMPA

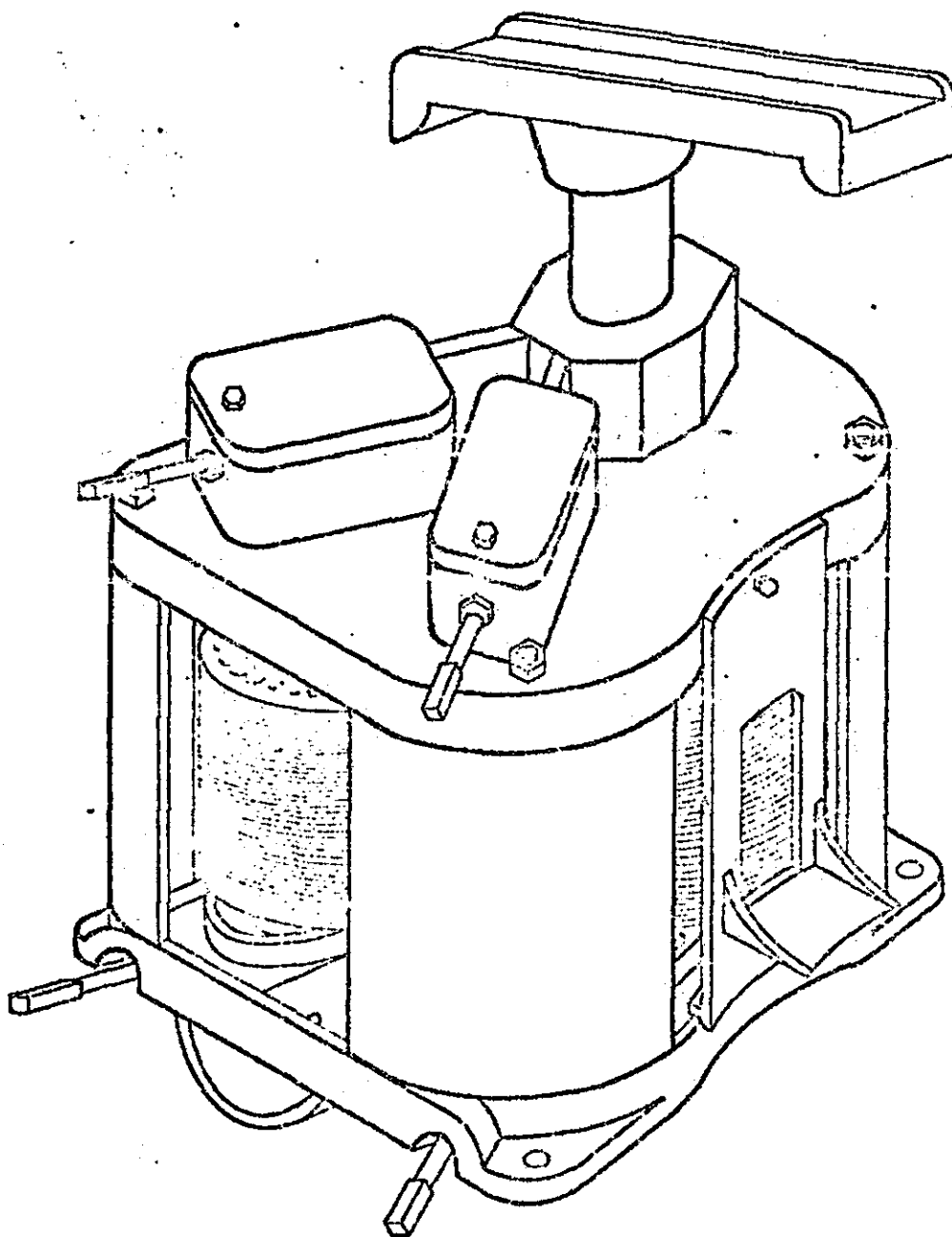


FIGURA I.- MOLINO. VERTICAL.

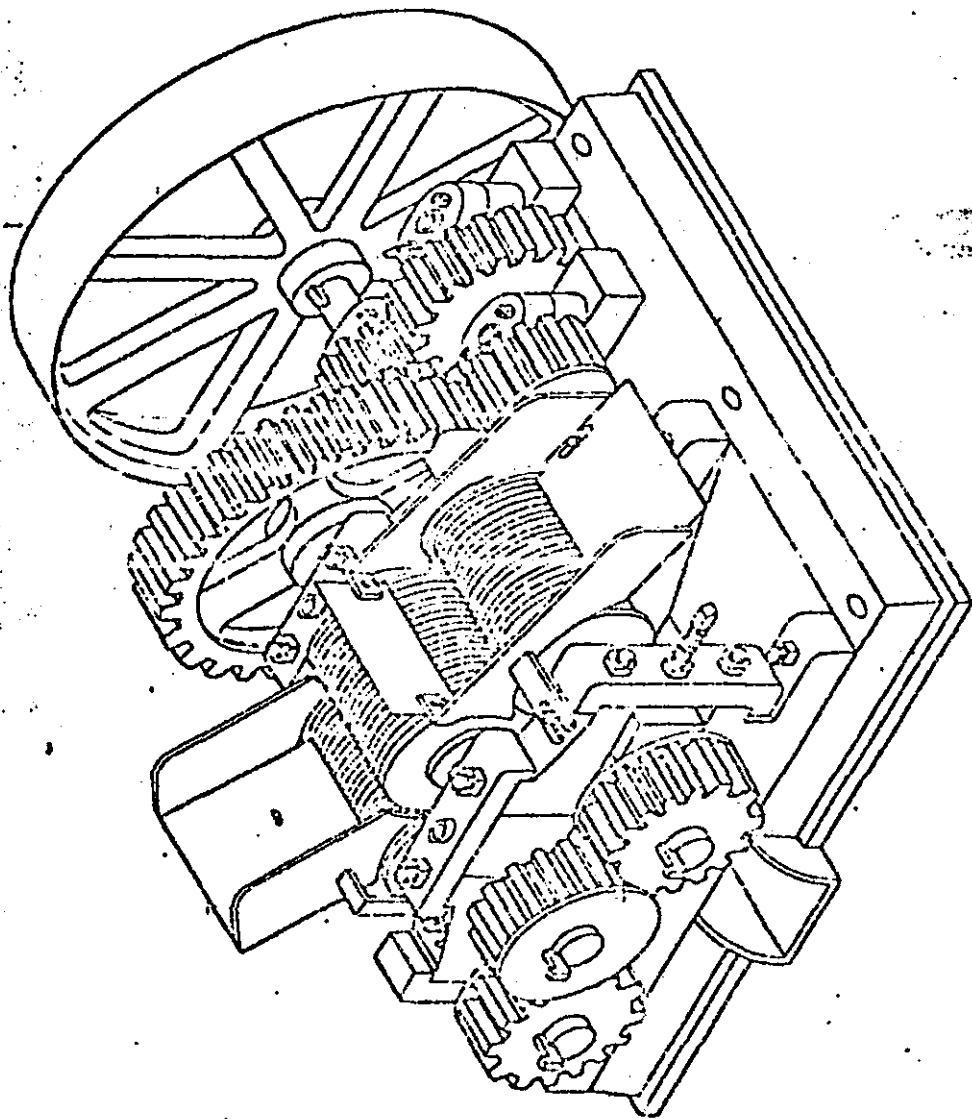


FIG. 2 MOLINO HORIZONTAL DE TRES MAZAS CON TRANSMISION INCORPORADA EN LA MISMA BASE.

los fabricantes de éstos equipos y los productores de panela se han preocupado principalmente de la capacidad. En términos generales el consumo de potencia se ha visto muy superficialmente por todos los sectores interesados en el tema.(1, 3,4).

En éste artículo se presentan las definiciones de cada uno de los términos mencionados anteriormente, su determinación y su efecto en el rendimiento a panela. En el siguiente artículo se presentará el efecto de las variables de diseño de los molinos y las condiciones de operación de los mismos sobre cada uno de éstos términos.

#### CAPACIDAD

El término "Capacidad" establece y permite conocer la cantidad de caña molida por la máquina en una determinada cantidad de tiempo y se expresa generalmente en kilogramos o toneladas por hora.(5).

Se puede diferenciar dos tipos o clases de capacidad: "Nominal ó Teórica" y "Real". La primera establece la cantidad de caña que puede pasar el molino en un tiempo definido (generalmente muy corto), donde la máquina trabaja en forma continua(5),

La Capacidad Real cuantifica la caña molida en una unidad de tiempo, pero teniendo en cuenta las paradas, obstáculos y condiciones normales de trabajo de los trapiches.(1,5).

En los trapiches de tracción animal y de acuerdo con la clase y estado de los animales, la capacidad nominal

TABLA No. 1. RECOMENDACIONES DE VELOCIDAD DE MAZAS Y ABERTURA DE ENTRADA PARA LOS MOLINOS COLOMBIANOS CON LOS ESTIMATIVOS DE CAPACIDAD Y POTENCIA.

MARCA	MODELO	DIAMETRO cm	LONG. cm	Veloc.Recomd. Abert.		Capc. kg/h	Potencia Kw	H.P
				MINIM-MAXIM. r/min-r/min	ENTRADA mm			
Amagá	15	13,9	13,9	14 - 18	11	330	3,0	4,0
	14	16,5	16,5	12 - 15	11	600	4,5	6,0
	13	19,0	17,8	10 - 13	12	860	6,0	8,0
	12 D	20,3	21,6	9 - 13	12	1090	7,5	10,0
	11 D	24,1	26,0	8 - 11	14	1610	10,5	14,0
	10 D	31,8	30,5	6 - 8	15	2340	14,5	19,0
Apolo	3 B	20,3	19,1	9 - 13	12	1000	7,0	9,0
	3 C	21,6	25,4	9 - 12	13	1370	9,0	12,0
	4 C	24,4	22,9	8 - 10	14	1510	9,5	13,0
	5 STD	26,6	23,4	7 - 10	14	1750	11,0	15,0
	8 STD	33,0	30,5	6 - 8	15	2420	15,0	20,0
El Panelero	R-2	14,0	12,7	14 - 18	11	280	2,6	3,5
	R-4	21,0	20,3	9 - 12	12	1090	7,5	10,0
	R-5	20,3	25,4	9 - 13	12	1240	8,5	12,0
	R-6 S	21,3	25,4	9 - 12	12	1300	8,9	12,0
	R-8 Ac	21,3	25,4	9 - 12	12	1300	8,9	12,0
	R-14Ac	26,0	33,0	7 - 9	14	2050	13,5	18,0
Gaitan*	5 x 5	12,7	12,7	15 - 20	11	200	2,2	3,0
	6 x 8	15,2	22,9	13 - 17	11	650	5,2	7,0
	9 x10	22,9	25,4	8 - 11	13	1450	9,6	13,0
	11,5 x14	29,2	35,6	7 - 9	15	2360	15,0	20,0
	15 x20	39,1	50,8	5 - 7	16	3530	22,5	30,0
	18 x24	45,7	61,0	4 - 6	18	4570	23,5	38,0
Gerrey	Sucesor	21,0	30,4	9 - 12	12	1500	10,5	14,0
	13-V	20,3	25,4	9 - 13	12	1240	8,6	12,0
	Masoota	14,0	12,5	14 - 18	11	280	2,5	3,4
Hakspiel	5	12,7	12,7	15 - 20	11	200	2,2	3,0
	6	15,2	20,3	13 - 17	11	572	4,6	6,0
	8	20,3	25,4	9 - 13	12	1040	7,0	12,0
	10	25,4	25,4	8 - 10	14	1530	10,0	14,0
	10 A	25,4	30,5	8 - 10	14	1720	11,5	15,0
	12	30,5	30,5	6 - 8	15	2250	14,1	19,0
	12 A	30,5	35,6	6 - 8	15	2440	15,5	21,0
Penagos	TH-6	20,3	15,2	9 - 13	12	850	5,6	8,0
	TH-8	20,3	25,4	9 - 13	12	1240	8,5	12,0
	TH-10	25,4	25,4	8 - 10	14	1670	10,5	15,0
	TH-11	25,4	30,5	8 - 10	14	1860	12,2	16,0
	TH-12	30,5	30,5	6 - 8	15	2250	14,1	19,0
	TH-16	30,5	40,6	6 - 8	15	2640	17,0	24,0
Tornometal	TM-9	22,3	22,8	8 - 11	13	1465	10,0	13,0
	TM-11	24,4	28,0	8 - 10	14	1850	12,8	15,0

\* Sólo molinos de 3 mazas.

## EXTRACCION

El término extracción en peso ( $E_p$ ), relaciona la cantidad de jugo recuperado en el molino ( $P_j$ ), con respecto a una determinada cantidad de caña ( $P_c$ ) y se expresa así:

$$E_p = P_j / P_c \times 100 \quad \text{Ec.1}$$

La expresión anterior tiene la ventaja de ser fácilmente determinable, pues solamente es necesario poseer una báscula o balanza. Sin embargo, no permite establecer las pérdidas o el rendimiento real, pues relaciona dos productos de características y composición diferentes: jugo y caña. Por esto, para determinar el rendimiento de jugo hay necesidad de incorporar el contenido de fibra de la caña ( $F_c$ ) y; para estimar la conversión a panela se requiere conocer el contenido de sólidos solubles o brix del jugo ( $^{\circ}B_j$ ) y de la panela ( $^{\circ}B_p$ ) (3, 5).

En términos generales, el contenido de fibra de la caña fluctúa entre 10 y 18% de acuerdo con la variedad, condiciones de cultivo y madurez, principalmente. En las zonas paneleras, CIMPA ha encontrado que la fibra de la caña, en la época de cosecha, varía entre 13 y 16%, con promedio general de 15%.(2).

Considerando lo anterior, se puede calcular la Extracción de jugo por medio de la siguiente expresión:

$$E_j = P_j / (P_c - P_f) \times 100 \quad \text{Ec.2}$$

Donde,

$P_f$  = Peso de la fibra contenida en la muestra de caña, kg.

$E_j$ ,  $P_j$  y  $P_c$ , definidos anteriormente.

Conocidas las anteriores variables se pueden determinar, tanto la Extracción en peso ( $E_p$ ) como la Extracción de jugo ( $E_j$ ), como se muestra en el siguiente ejemplo:

Peso de la muestra de caña ( $P_c$ ) = 50 kg

Peso de jugo obtenido ( $P_j$ ) = 30 kg

Contenido de fibra de la caña = 15%

La extracción en peso ( $E_p$ ) será según la Ec.1:

$$E_p = \frac{P_j}{P_c} \times 100 = \frac{30 \text{ kg}}{50 \text{ kg}} \times 100 = 60\%$$

El peso de fibra contenida en la muestra de caña será:

$$P_f = \frac{50 \text{ kg} \times 15}{100} = 7,5 \text{ kg}$$

Por tanto, la Extracción de jugo ( $E_j$ ) según la Ec.2, será:

$$E_j = \frac{P_j}{(P_c - P_f)} \times 100 = \frac{30 \text{ kg}}{(50 \text{ kg} - 7,5 \text{ kg})} \times 100 = 70,59\%$$

Como se nota el uso de la extracción de jugo ( $E_j$ ) permite determinar directamente la pérdida de jugo en el bagazo, lo cual no ocurre con el término Extracción en peso ( $E_p$ ). En el caso del ejemplo mencionado las pérdidas de jugo serán del 29,41%.

Tanto en los molinos de tracción animal, como en los de tracción mecánica la Extracción en peso ( $E_p$ ) varía entre 40 y 60% con un promedio general de 50%. Si se considera un contenido de fibra promedio del 15% en la caña, la Extracción de jugo ( $E_j$ ), oscilará entre

47 y 70% con promedio cercano al 60%. Esto permite concluir que las pérdidas de jugo en los trapiches colombianos oscilan entre 30 y 53%, con promedio general del 40%. (2).

#### CONSUMO DE POTENCIA

En términos generales el consumo de potencia indica el trabajo realizado o la energía consumida en una unidad de tiempo.

En el caso de los molinos, el consumo de potencia depende básicamente del trabajo realizado para la compresión de la caña y de la energía consumida en la propia máquina. Este segundo término comprende la fricción en las diferentes partes en movimiento y entre algunas partes en movimiento con otras estacionarias, tales como engranajes y mazas con raspadores y tornabagazo, entre otros. (5).

Estos términos de por sí son difíciles de estimar y además se ven afectados por otros que son imposibles de cuantificar como el efecto de la variedad de caña, estado de la superficies en rozamiento y calidad y conservación de la lubricación, entre otras. Por éstos motivos es difícil tener una gran precisión en los cálculos de la potencia de los molinos (4, 5).

Sin embargo, en trabajos realizados por el ICA, se ha determinado una ecuación empírica que permite determinar el consumo de potencia con base en la capacidad y la Extracción en peso como sigue:

$$P = - 10,53 + 4,83 C + 0.19 Ep$$

Ec.3

Donde:

P= Potencia consumida , kW

C= Capacidad de molienda, toneladas/hora

Ep= Extracción en peso,%

Un kilovatio (kW) es igual a 1,34 caballos de fuerza (H.P)

Los resultados obtenidos con la ecuación 3 son válidos para motores diesel ó eléctricos y para molinos y motores en buen estado mecánico. Cuando se trate de motores a gasolina el valor obtenido se debe duplicar. También y en forma más práctica se ha establecido que se necesitan 8 caballos de fuerza por tonelada de caña molida por hora y para una extracción en peso de 60%. (4,5).

#### RENDIMIENTO EN PANELA DE LA MOLIENDA.

Una vez definidos los términos de rendimiento o de desempeño de los molinos, se determinará a continuación su efecto en la producción de panela para así poder obtener un balance adecuado entre el conjunto de molienda y la hornilla.

Para realizar lo anterior, además de conocer la capacidad real y extracción en peso de los molinos, es necesario determinar el Brix de los jugos crudos y clarificados, el Brix de la panela y la cantidad de cachaza producida.

La panela (Pp) obtenida de una determinada cantidad de jugo clarificado (Pjc), viene dada por la relación de los pesos y contenidos de sólidos solubles del jugo clarificado ( $^{\circ}B_{jc}$ ) y de la panela ( $^{\circ}B_p$ ) según la siguiente expresión:

$$P_p \times B_p = P_{jc} \times ^{\circ}B_{jc}$$

De esta igualdad se puede obtener la ecuación siguiente:

$$P_p = \frac{P_{jc} \times \text{°B}_{jc}}{\text{°B}_p} \quad \text{Ec. 4}$$

El peso del jugo crudo se obtiene integrando la capacidad en la ecuación 1, como el peso de caña molido por hora, como sigue

$$P_{jh} = \frac{C \times E_p}{100} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$P_{jh}$  = Peso de jugo crudo producido por hora, kg/h

$C$  = Capacidad, kg/h

$E_p$  = Extracción en peso, %

Por último el peso del jugo clarificado es igual al peso del jugo crudo menos el peso de la cachaza producida.

En las evaluaciones realizadas por CIMPA se ha encontrado que el peso de la cachaza varía entre el 2 y 6% del peso de la caña, pero en casos particulares hay necesidad de establecerla mediante pesajes (2).

Integrando las ecuaciones 4 y 5 y considerando el peso de la cachaza, se puede calcular la panela producida mediante la siguiente ecuación:

$$P_p = \left( \frac{C \times E_p}{100} - P_{cz} \right) \times \frac{\text{°B}_{jc}}{\text{°B}_p} \quad \text{Ec. 6}$$

Para facilitar los cálculos se puede asumir que el Brix del jugo clarificado es igual al Brix del jugo crudo a la salida del molino.

El siguiente ejemplo puede ayudar a aclarar el uso de la ecuación 6.

En la evaluación de un trapiche se encontró un molino con capacidad nominal de 1300 kg/h y que trabaja en promedio 45 minutos por hora y con una extracción en peso del 50%. Así mismo, se determinó que el Brix del jugo crudo era de 20 °B, el de la panela 90°B y la cachaza producida era de 4 kg por cada 100 kg de caña. Estimar el peso de la panela producida por hora en dicho trapiche.

1- Se determina la capacidad real por hora:

$$Cr = \frac{1300 \text{ kg} \times 45 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 975 \text{ kg/h}$$

2- Determinar el peso de cachaza

$$\frac{975 \text{ kg} \times 4 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} = 39,00 \text{ kg}$$

3- Aplicar la ecuación 6

$$Pp = \left( \frac{975 \times 50}{100} - 39 \right) \times \frac{20^{\circ}}{90^{\circ}} = 99,64 \text{ kg de panela}$$

Aplicando la ecuación 6 de la misma forma y para las mismas condiciones de peso de cachaza (4% con relación al peso de la caña) y brix de la panela se elaboró la tabla , que permite estimar la panela producida por una tonelada de caña, bajo diferentes niveles de extracción en peso y para contenidos de sólidos solubles variables entre 16 y 22 °B.

TABLA No.2 . PANELA PRODUCIDA (KG) POR TONELADA DE CAÑA  
 CAÑA A DIFERENTES NIVELES DE EXTRACCION EN  
 PESO Y JUGOS CRUDOS CON BRUX ENTRE 16 Y 21  
 °B. BRUX DE LA PANELA CONSTANTE A 90° Y DE  
 CACHAZA IGUAL AL 4% DEL PESO DE LA CAÑA.

Brix Jugo crudo	EXTRACCION EN PESO					
	40	45	50	55	60	65
16	64,0	72,0	81,8	90,7	99,6	108,4
17	68,0	77,4	86,9	96,3	105,8	115,2
18	72,0	82,0	92,0	102,0	112,0	122,0
19	76,0	86,0	97,1	107,7	117,3	128,9
20	80,0	91,1	102,2	113,3	124,4	135,6
21	84,0	95,7	107,3	119,0	130,7	142,3
22	88,0	100,2	112,4	124,7	136,9	149,1

La anterior tabla muestra el efecto marcado del brix del jugo crudo y de la extracción en peso sobre conversión de caña a panela. Para una misma conversión en peso, la variación de un grado brix puede significar incrementos de entre 4 y 6 kilogramos de panela por tonelada de caña.

Así mismo, para el mismo contenido de sólidos solubles totales en el jugo la variación de la conversión de panela puede variar entre 1,8 y 2,4 por cada punto que se aumente la extracción.

En términos generales se puede concluir que el incremento de cada punto en la extracción en peso, significa un aumento de 10 kg de jugo recuperado por el molino y en promedio 2 kg más de panela producidos en el trapiche.

## BIBLIOGRAFIA

1. ABARCA, P., J.A.; GARCIA B., H.R.; MORENO P.F.  
1984. Factores que determinan la capacidad de los molinos paneleros. ICA, Bogotá, Revista - ICA Vol 19 (4). p 419-426
2. CIMPA, Convenio ICA-HOLANDA de Investigación para el Mejoramiento de la Industria Panelera. 1987 Evaluaciones Técnico-Económicas de la Producción Panelera en la Hoya del Río Suárez. CIMPA, Barbosa, Santander. Documento de trabajo.
3. GARCIA, B., H.R.; ABARCA, P., J.A.; MORENO, P.F.  
1984. Factores que determinan la Extracción - en molinos paneleros. ICA, Bogotá. Revista ICA Vol 19(3). p 341-350.
4. . 1984. Factores que determinan el consumo de potencia en molinos paneleros. ICA, - Bogotá, Revista ICA. En impresión.
5. HUGOT, E., 1982. Manual para Ingenieros Azucare- ros. Trad. por Carlos Ruiz Coutinho. Mexico, Continental. p 803.