

XVIII. MOLINOS PANELEROS

Hugo R. García B.¹ *ernal*

1. DEFINICION

El molino panelero es el equipo destinado a extraer el jugo de la caña, mediante la compresión que se produce cuando se hace pasar la caña por entre los rodillos o mazas que giran a una determinada velocidad y están ajustados convenientemente.

2. CLASIFICACION

De acuerdo con la orientación de las mazas, los molinos paneleros se pueden clasificar en dos grupos: verticales y horizontales.

- a) Molinos verticales: Sus tres mazas están colocadas en forma vertical (Figura 1). Son accionados por tracción animal (1 ó 2 caballos o bueyes) y tienen capacidades de molienda que varían entre 100 y 200 kg de caña molida por hora.

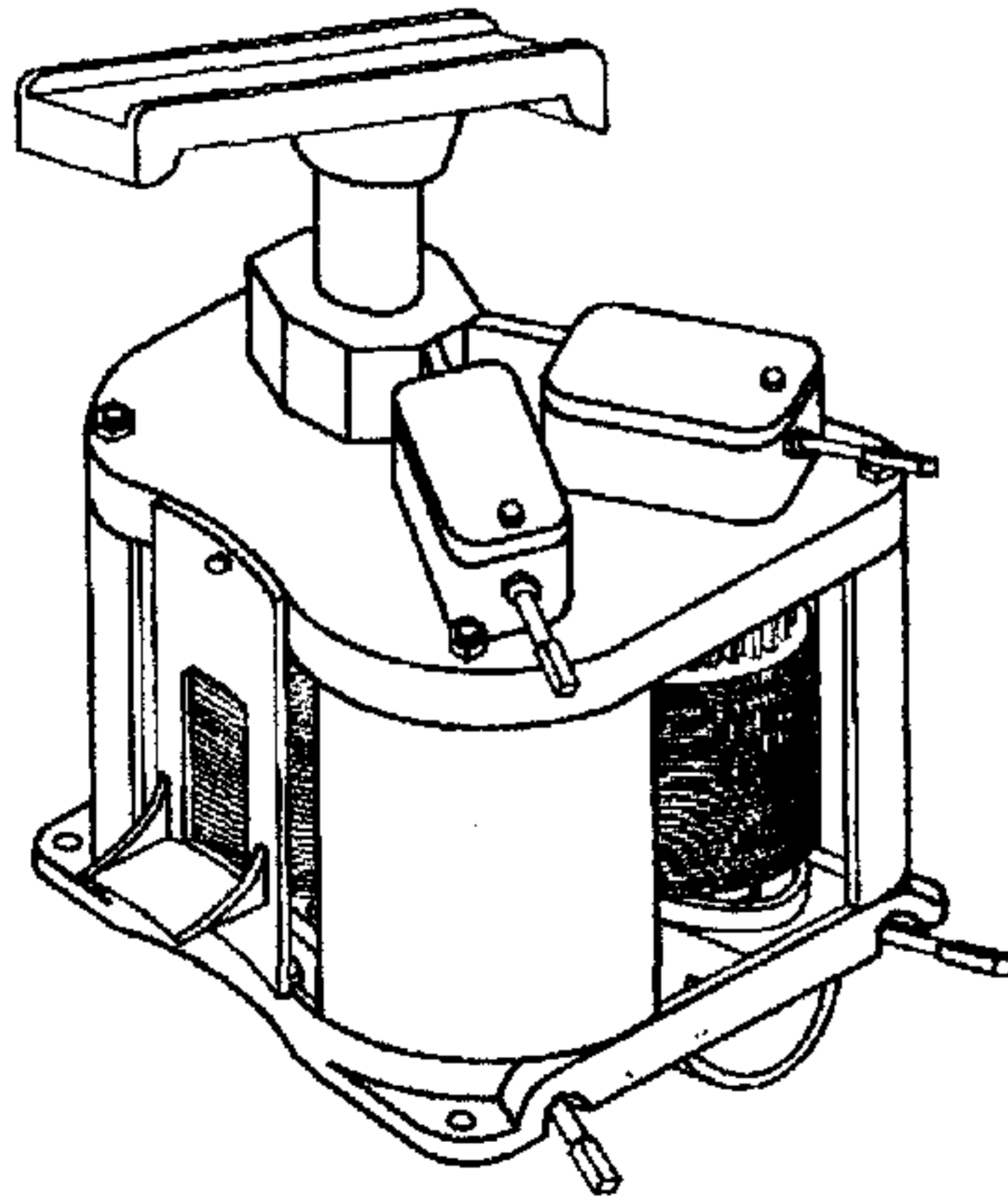


FIGURA 1. Molino vertical.

¹ Investigador Asociado y Coordinador del Programa Nacional de Maquinaria Agrícola y Postcosecha, CORPOICA. A.A 240142, Bogotá

- b) Molinos horizontales: Tienen sus mazas dispuestas horizontalmente (Figura 2). Son accionados por tracción mecánica y tienen capacidades de molienda entre 0.5 y 3 toneladas de caña por hora.

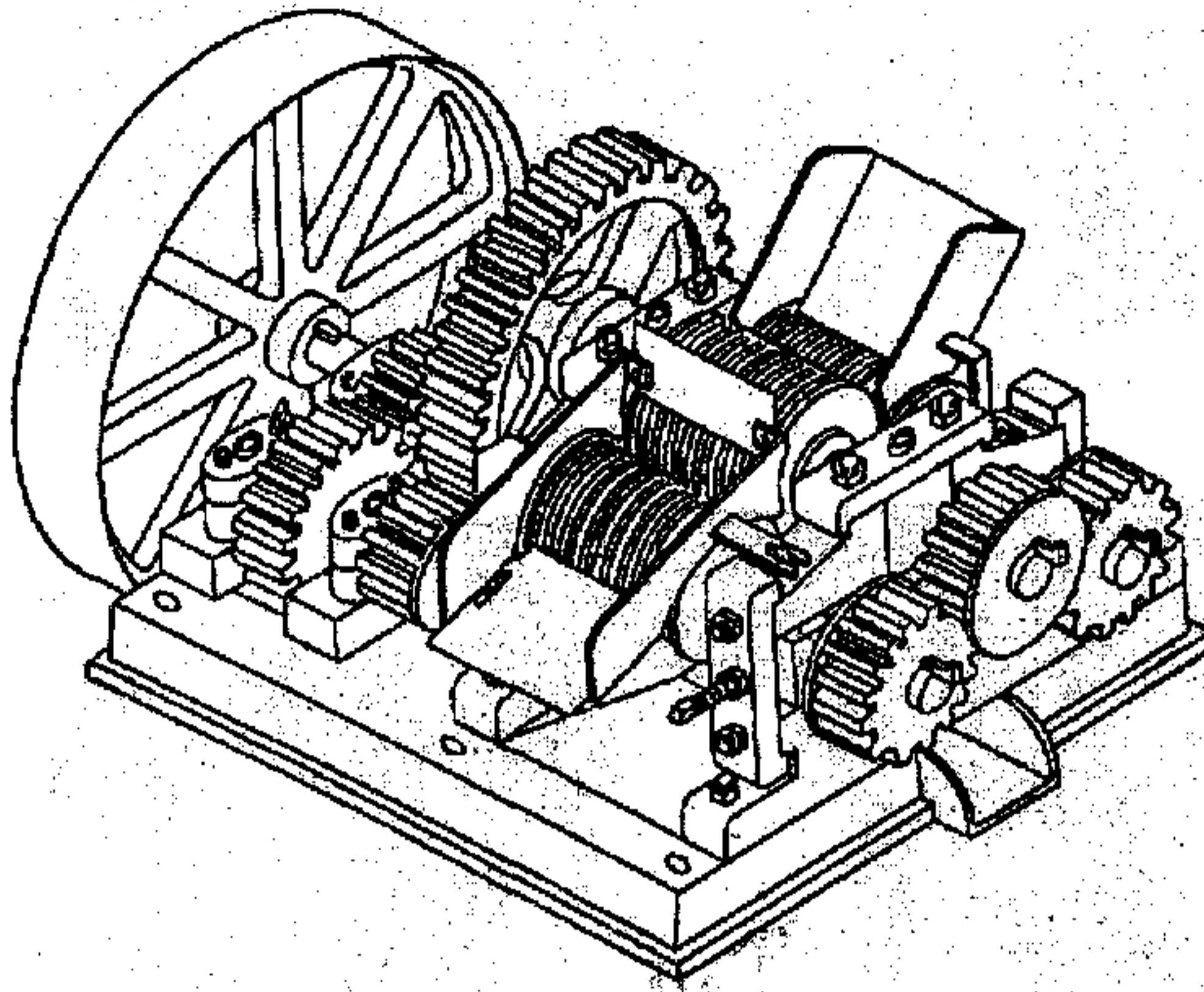


FIGURA 2. Molino horizontal.

En la industria panelera los molinos más utilizados son los de tres mazas, pero en algunos trapiches de alta producción se utilizan molinos de cinco, así como también dos molinos de tres mazas colocados en serie, con el fin de aumentar el nivel de extracción.

3. FUENTES DE ENERGÍA

Para el accionamiento de los molinos paneleros se pueden utilizar fuentes de energía animal, hidráulica, eléctrica y motores de combustión interna.

a) Energía animal: Es utilizada para el accionamiento de los molinos verticales.

b) Energía hidráulica: Se utiliza tanto la rueda hidráulica como la turbina Pelton.

La ventaja principal reside en que la energía no tiene costo. Las desventajas son: La inversión inicial alta y la pérdida de potencia durante el verano por disminución en el caudal de agua.

c) Energía eléctrica: Se utilizan motores trifásicos.

Los motores eléctricos tienen las siguientes ventajas: Requieren de muy poco mantenimiento, son silenciosos y si el voltaje en las líneas se mantiene, no se presentan disminuciones en la potencia.

Algunas desventajas consisten en que no en todos los sitios se dispone de energía eléctrica; además, el suministro de electricidad puede ser irregular, lo cual causa traumatismos en la molienda.

d) Motores de combustión interna: el diesel es el más utilizado por ser de baja velocidad y alto torque. También es común el uso de los motores a gasolina especialmente en los trapiches de baja producción de panela. Estos motores tienen la desventajas de que son de alta velocidad y bajo torque.

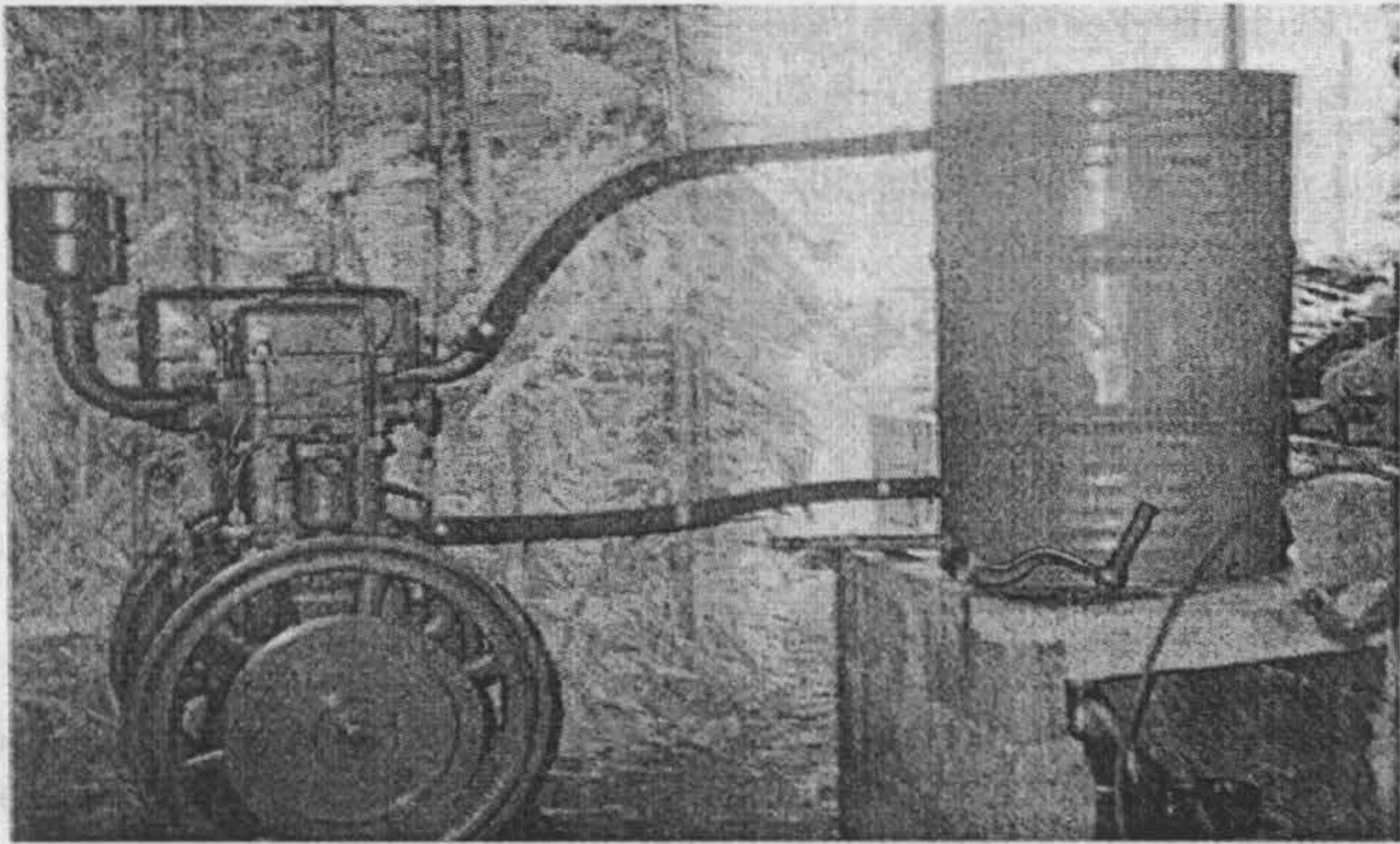


Figura 3. Motor diesel utilizado frecuentemente en los trapiches colombianos

4. PARTES PRINCIPALES DE UN MOLINO PANELERO

En la Figura 4 se muestran las partes principales de un molino horizontal. La potencia del motor se recibe a través de la polea o volante, identificado con el número (1). Posteriormente se transmite a la maza mayal o superior (3), por medio de dos pares de engranajes (2) que reducen la velocidad. Las mazas quebradora (4) y repasadora (6) reciben el movimiento por medio de piñones (7) colocados en el extremo de sus ejes. Las tres mazas van montadas sobre cojinetes planos (8) construidos en bronce, los cuales se soportan sobre las cureñas (9), que a su vez van instaladas sobre la base del molino (11).

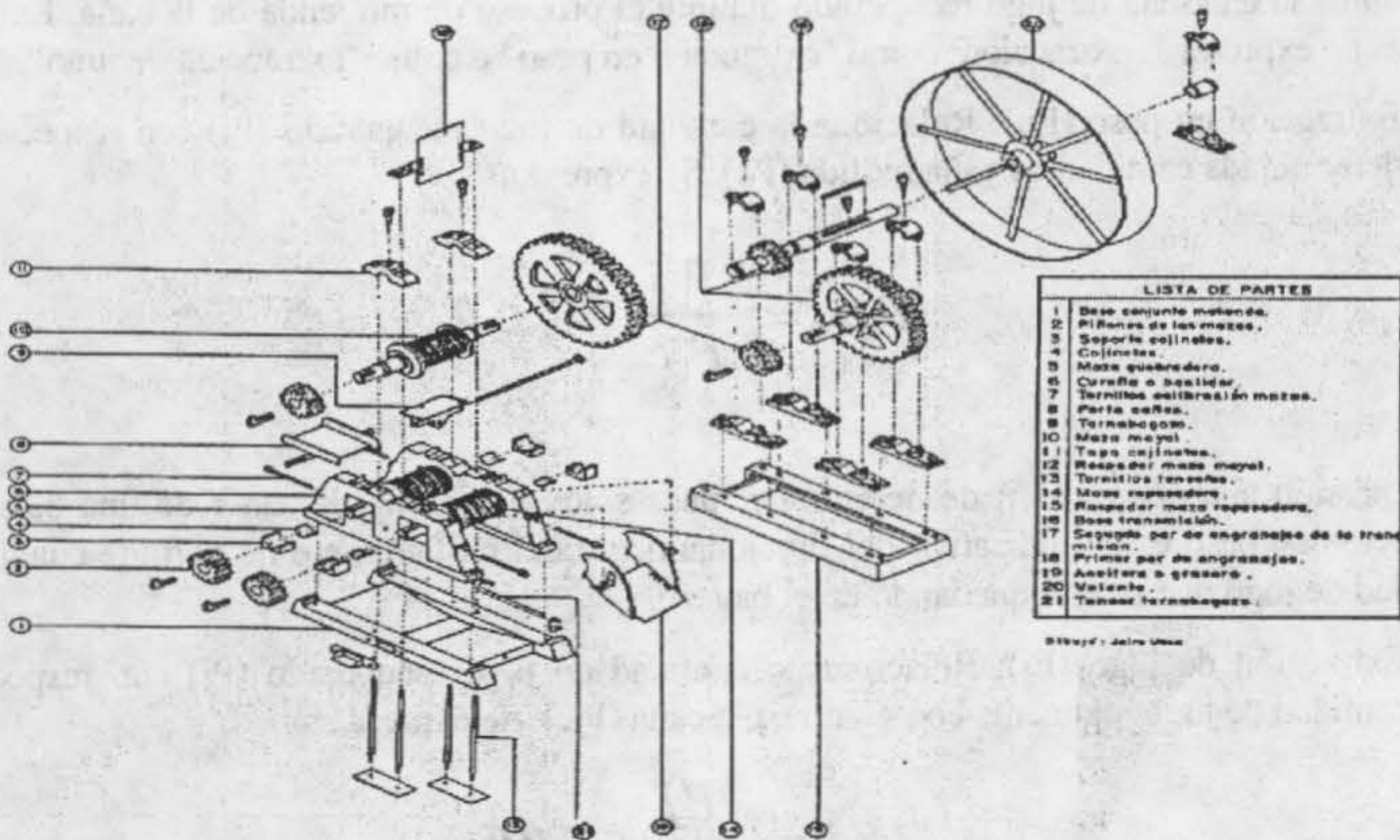


FIGURA 4. Partes principales del molino panelero.

La caña se conduce por el portacañas (5) hacia el par quebrador conformado por la maza mayal y la quebradora, y sufre una primera extracción. Luego se guía por medio del tornabagazo o cuchillo (13) hacia el par repasador, formado por la maza mayal y la repasadora, donde se termina de extraer el jugo. El bagazo que queda adherido a las ranuras de las mazas mayal y repasadora es removido por los raspadores (12). La abertura o separación entre mazas se regula mediante los tornillos de calibración (10).

5. PARAMETROS DE RENDIMIENTO DE LOS MOLINOS

Hay tres características básicas que definen el desempeño de un molino: La capacidad, la extracción y la potencia requerida, que combinadas adecuadamente permiten obtener un óptimo rendimiento.

5.1 CAPACIDAD

Se define como la cantidad de caña que se puede moler en un tiempo determinado y se expresa en kg o t/h. Se puede expresar de dos formas:

- Capacidad nominal: Cuantifica la caña molida en un tiempo determinado, generalmente muy corto, y la máquina trabaja en forma continua y bajo condiciones ideales.
- Capacidad real: Para determinar esta capacidad se contabiliza, además, el tiempo empleado en el mantenimiento del equipo y en descansos de los operarios, bajo condiciones normales de trabajo en los trapiches.

La capacidad real es siempre inferior a la nominal, porque la cantidad de caña molida se reduce, entre otros, por los siguientes factores: Limpieza, forma y diámetro de la caña; pericia y capacidad de trabajo de los operarios; potencia y estado mecánico del motor; selección adecuada y estado de la correa; tiempo empleado en el mantenimiento de los equipos y en la alimentación de los operarios; y balance del conjunto de molienda con la hornilla.

5.2 EXTRACCION

Determina la cantidad de jugo recuperado durante el proceso de molienda de la caña. Existen dos formas de expresar la extracción: como "extracción en peso" o como "extracción de jugo".

- Extracción en peso (E_p): Relaciona la cantidad de jugo recuperado (P_j) con respecto a una determinada cantidad de caña molida (P_c). Se expresa así:

$$E_p = \frac{P_j}{P_c} * 100$$

La expresión anterior es fácil de determinar, pues sólo se necesita disponer de una balanza. La extracción en peso es un indicativo del funcionamiento del molino, pero no permite cuantificar la cantidad de jugo que se está quedando en el bagazo.

- Extracción de jugo (E_j): Relaciona la cantidad de jugo recuperado (P_j) con respecto a la cantidad de jugo realmente contenido en la caña (P_{jc}). Se expresa así:

$$E_j = \frac{P_j}{P_{jc}} * 100$$

La cantidad de jugo realmente contenido en la caña está determinada por la fibra (Pf) presente en el tallo.

Entonces:

$$P_{jc} = P_c - P_f$$

El inconveniente de este procedimiento está en que se requiere un análisis de laboratorio para determinar el porcentaje de fibra presente en la caña.

De acuerdo con la variedad, las condiciones del cultivo y la madurez, el contenido de fibra de la caña fluctúa entre 10 y 18%.

Ejemplo:

Peso de la muestra de caña : 50 kg.
Peso de jugo recuperado : 30 kg.
Contenido de fibra de la caña : 15%.

-Extracción en Peso:

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

- Extracción de Jugo:

$$P_{jc} = P_c - P_f = 50 \text{ kg} - 0.15 \times 50 \text{ kg} = 42.5 \text{ kg.}$$

$$E_j = \frac{P_j}{P_{jc}} \times 100 = 70.6 \%$$

5.3 POTENCIA REQUERIDA

Indica el trabajo realizado o la energía consumida por unidad de tiempo. La potencia requerida depende del trabajo realizado para comprimir la caña y de la energía consumida por la propia máquina. El segundo término comprende la fricción entre las partes en movimiento con otras estacionarias, como engranajes, mazas con raspadores y tornabagazo, entre otros. Estos términos son difíciles de estimar y además, se afectan por otros imposibles de cuantificar como el efecto de la variedad de caña, el estado de las superficies en rozamiento y la calidad y conservación de la lubricación.

Sin embargo, en trabajos realizados por el ICA se encontró una ecuación empírica para determinar la potencia requerida, en función de la extracción en peso y de la capacidad; ESTA ES LA ECUACION:

$$P = -10.53 + 4.83 * C + 0.19 * E_p$$

Donde:

P : Potencia requerida, kW.
C : Capacidad nominal, t/h.
E_p : Extracción en peso, %.

1 kilovatio (kW) = 1.341 H.P.

Los valores obtenidos con la ecuación anterior son válidos para motores diesel ó eléctricos y molinos en buen estado mecánico. Cuando se trate de motores de gasolina, el valor obtenido se debe duplicar debido a que éstos son generalmente de alta velocidad y bajo torque de salida en el eje; por tanto, no soportan las sobrecargas que se presentan en el molino.

Con base en la ecuación enunciada, se puede estimar que para moler una tonelada de caña por hora, con un nivel de extracción en peso del 60%, se requieren como mínimo 8 H.P. de potencia en el motor.

En general, se puede afirmar que un molino panelero de tres mazas está operando eficientemente, cuando se obtiene una extracción en peso superior al 60%.

6. RENDIMIENTO EN PANELA DE LA MOLIENDA

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

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

Realizando un balance de masa, se tiene:

$$Pp^{\circ} Bp = Pjcl^{\circ} Bjcl$$

Por tanto,

$$Pp = \frac{Pjcl^{\circ} Bjcl}{^{\circ} Bp}$$

Donde:

Pp : Peso de panela, kg.

$Pjcl$: Peso de jugo clarificado, kg.

$^{\circ}Bp$: Sólidos solubles en panela, %.

$^{\circ}Bjcl$: Sólidos solubles en jugo clarificado, %.

El peso del jugo clarificado se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Pjcl = Pj - Pcz$$

Siendo,

Pj : Peso de jugo crudo, kg.

Pcz : Peso de la cachaza producida, kg.

En las evaluaciones realizadas por el CIMPA, se encontró que el peso de la cachaza varía entre 2 y 6% del peso de la caña.

Integrando las ecuaciones anteriores con las de capacidad real de molienda y la de extracción en peso, se puede calcular la panela producida mediante la siguiente expresión:

$$Pp = \left(\frac{C * Ep}{100} - Pcz \right) * \frac{^{\circ} Bjcl}{^{\circ} Bp}$$

Siendo,

C : Capacidad real de molienda, kg/h.

Ep : Extracción en peso, %

Ejemplo:

En la evaluación de un trapiche se encontró un molino con capacidad nominal de 1.430 kg/h, que trabaja en promedio 45 minutos por cada hora y da una extracción en peso de 50%. Así mismo, se encontró que el Brix del jugo crudo era de 20 °B, el de la panela, 90 °B y la cachaza producida era de 4kg por cada 100 kg de caña molida. Estimar el peso de la panela producida por hora en dicho trapiche.

Solución:

- Calcular la capacidad real (Cr):

$$Cr = \frac{1430 \text{ kg}}{45 \text{ min} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min}} = 1080 \text{ kg/h}$$

- Determinar el peso de la cachaza (Pcz) por hora:

$$Pcz = Cr \times 4 \% = 1080 \text{ kg/h} \times 0.04 = 40 \text{ kg/h}$$

- Calcular la producción de panela por hora (Pp):

$$Pp = \left(\frac{Cr \times Ep}{100} - Pcz \right) \times \frac{^{\circ}B_{jcl}}{^{\circ}B_p}$$
$$Pp = \left(\frac{1080 \text{ kg/h} \times 50}{100} - 40 \text{ kg/h} \right) \times \frac{20 \text{ }^{\circ}\text{B}}{90 \text{ }^{\circ}\text{B}} = 102 \text{ kg/h}$$

Aplicando la ecuación anterior, para las mismas condiciones de peso de cachaza y Brix de panela se elaboró la Tabla 1.

7. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DE LOS MOLINOS PANELEROS.

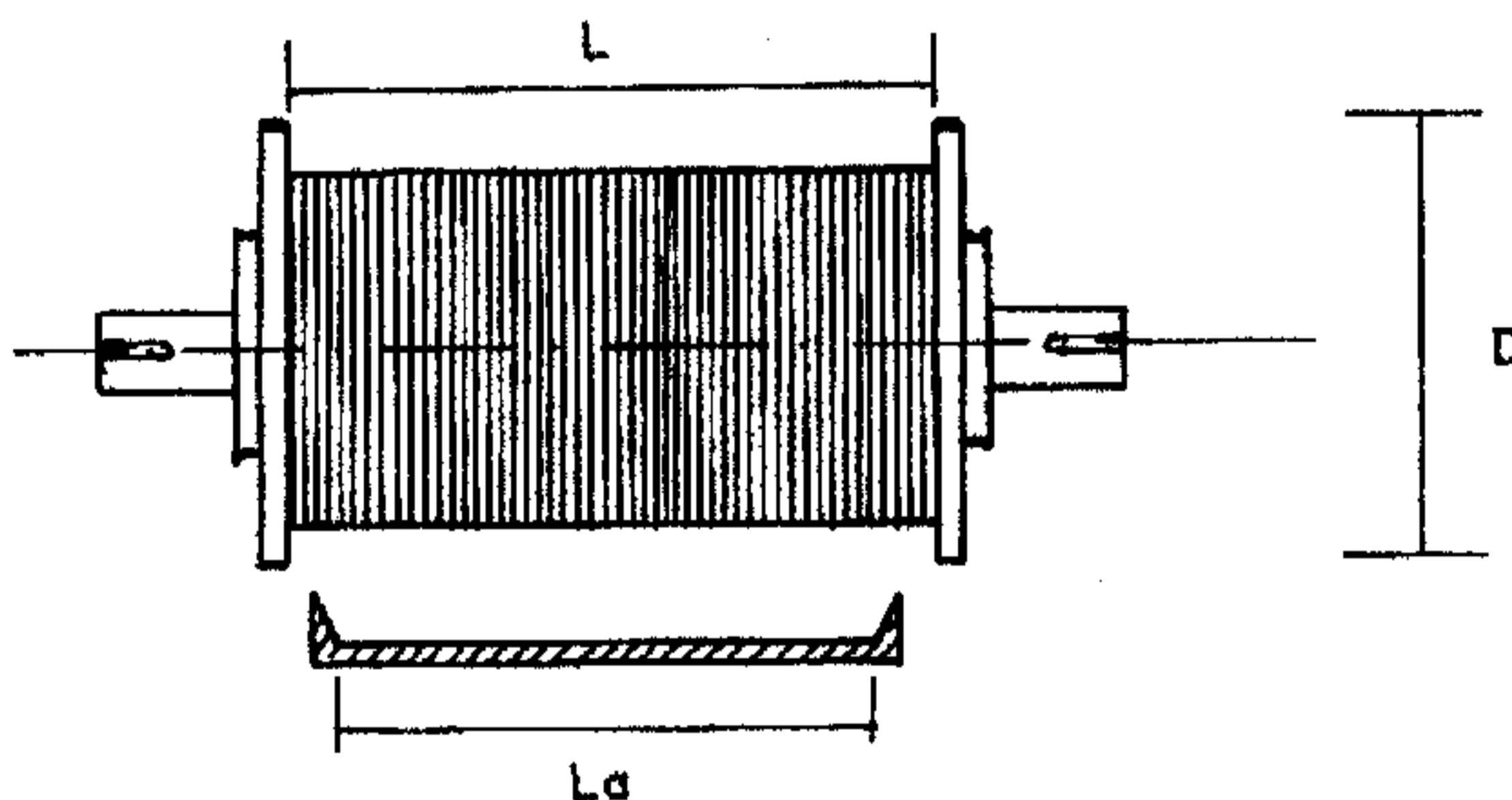
El diámetro y la longitud de las mazas se denominan variables de diseño porque vienen definidas de fábrica. La velocidad, las aberturas de entrada y salida en las mazas son variables de operación y pueden ser cambiadas por el usuario. Además existen otras que son: el porcentaje de fibra de la caña, el número de mazas, el tipo de ranurado y la pericia y condiciones físicas del operario.

TABLA 1. Panela producida (kg) por tonelada de caña a diferentes niveles de extracción en peso y jugos crudos con Brix entre 16 y 22°B; Brix de la panela constante a 90°B y cachaza igual al 4% del peso de la caña.

Brix jugo crudo	EXTRACCIÓN EN PESO, %					
	40	45	50	55	60	65
16	64	72	82	91	100	108
17	68	77	87	96	106	115
18	72	82	92	102	112	122
19	76	86	97	108	117	129
20	80	91	102	113	124	136
21	84	96	107	119	131	142
22	88	100	112	124	137	149

7.1 TAMAÑO DEL MOLINO

El tamaño del molino está definido por las dimensiones de la maza mayal (diámetro x longitud), Figura 4. Por ejemplo, un molino de tamaño 10 x 12 significa que la maza mayal tiene 10 pulgadas de diámetro y 12 de longitud, cuando se utilizan las unidades del sistema inglés.



TAMAÑO : $D \times L$

L = Longitud nominal de la maza.

D = Diámetro de la maza.

La = Longitud de alimentación.

FIGURA 5. Dimensiones de la maza mayal o superior.

Las dimensiones de la maza influyen sobre la capacidad y sobre la potencia requerida, mas no sobre la extracción, como se observa en la figura siguiente.

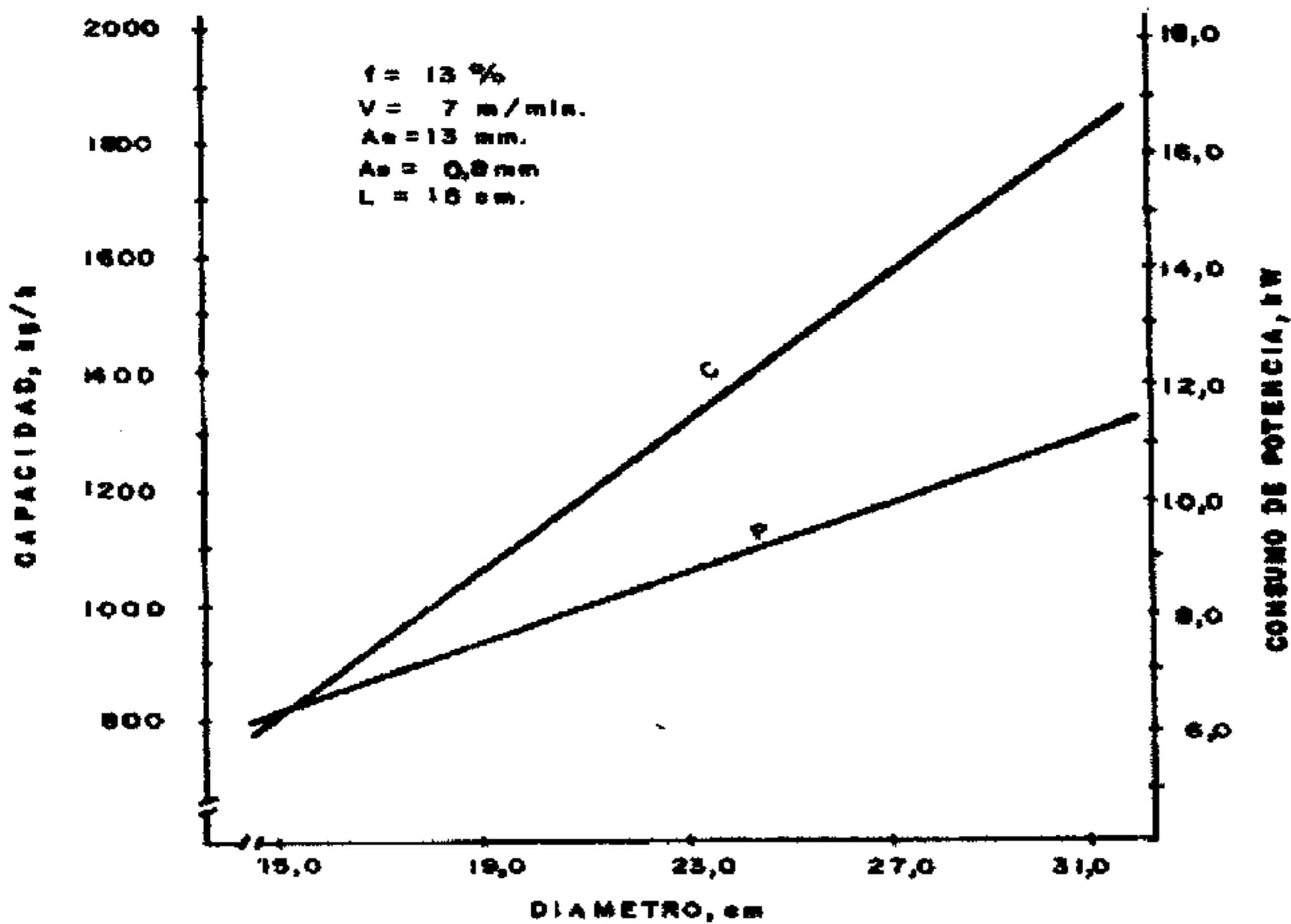


FIGURA 6. Efecto del diámetro de las mazas sobre la capacidad de molienda y sobre el consumo de potencia

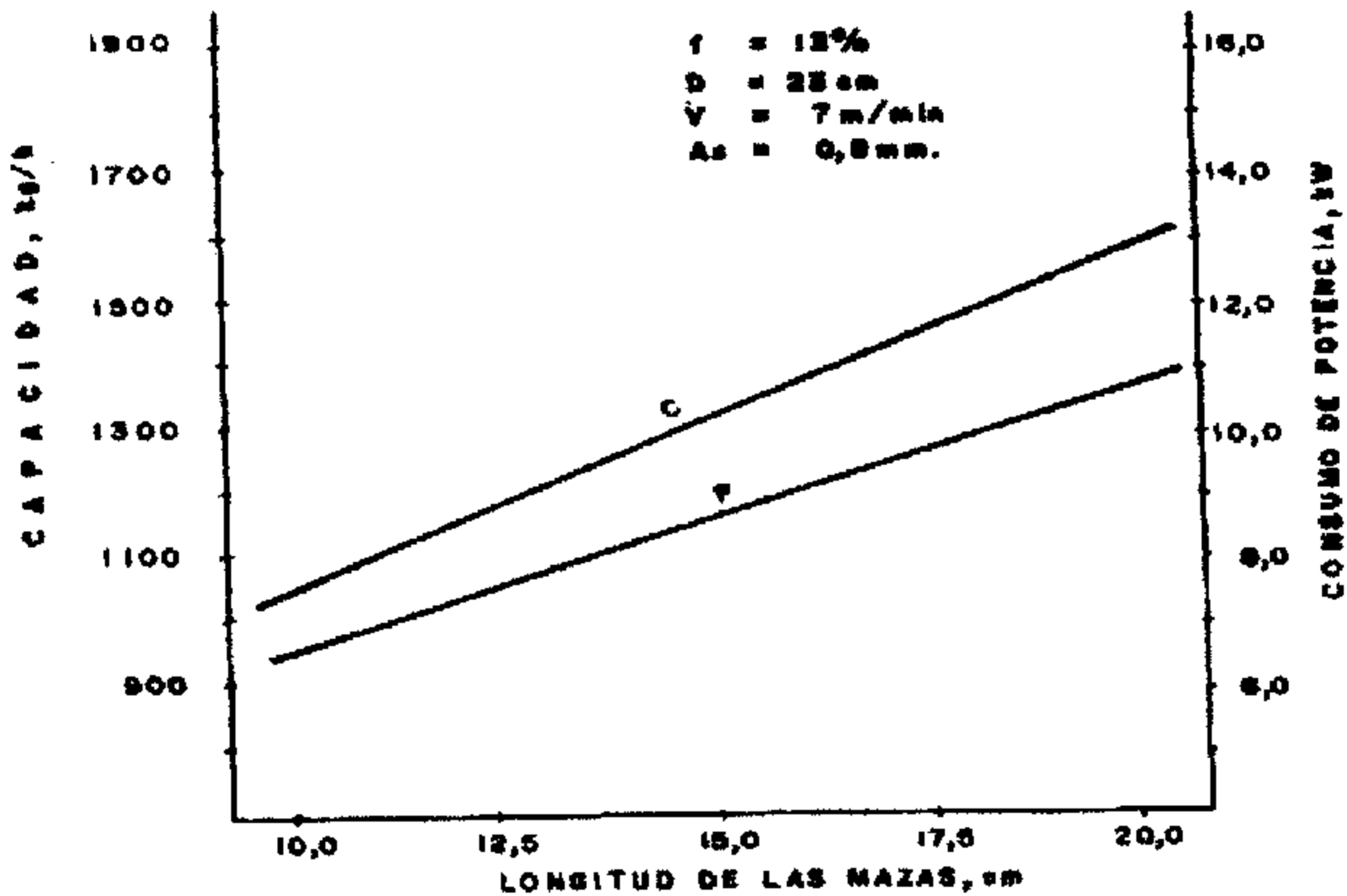


FIGURA 7 Efecto de la longitud de las mazas sobre la capacidad y el consumo de potencia

7.2 VELOCIDAD

La velocidad de las mazas influye directamente sobre la productividad y vida útil de la máquina y es la única variable que incide sobre los tres parámetros de desempeño de los molinos paneleros.

La velocidad se puede expresar como lineal ó periférica (v) y como velocidad de rotación de las mazas (n). La primera da la medida del recorrido de la caña a través de las mazas (Figura 5) y se expresa en metros por minuto (m/min).

La velocidad de rotación (n) expresa el número de vueltas ó revoluciones que da la maza mayal en un minuto (r/min). Las dos velocidades se relacionan así:

$$n = \frac{v}{p * D}$$

Donde:

- v : Velocidad periférica ó lineal, m/min.
- p : Constante, 3.1416
- D : Diámetro maza mayal, m.
- n : Velocidad de rotación de las mazas, r/min.

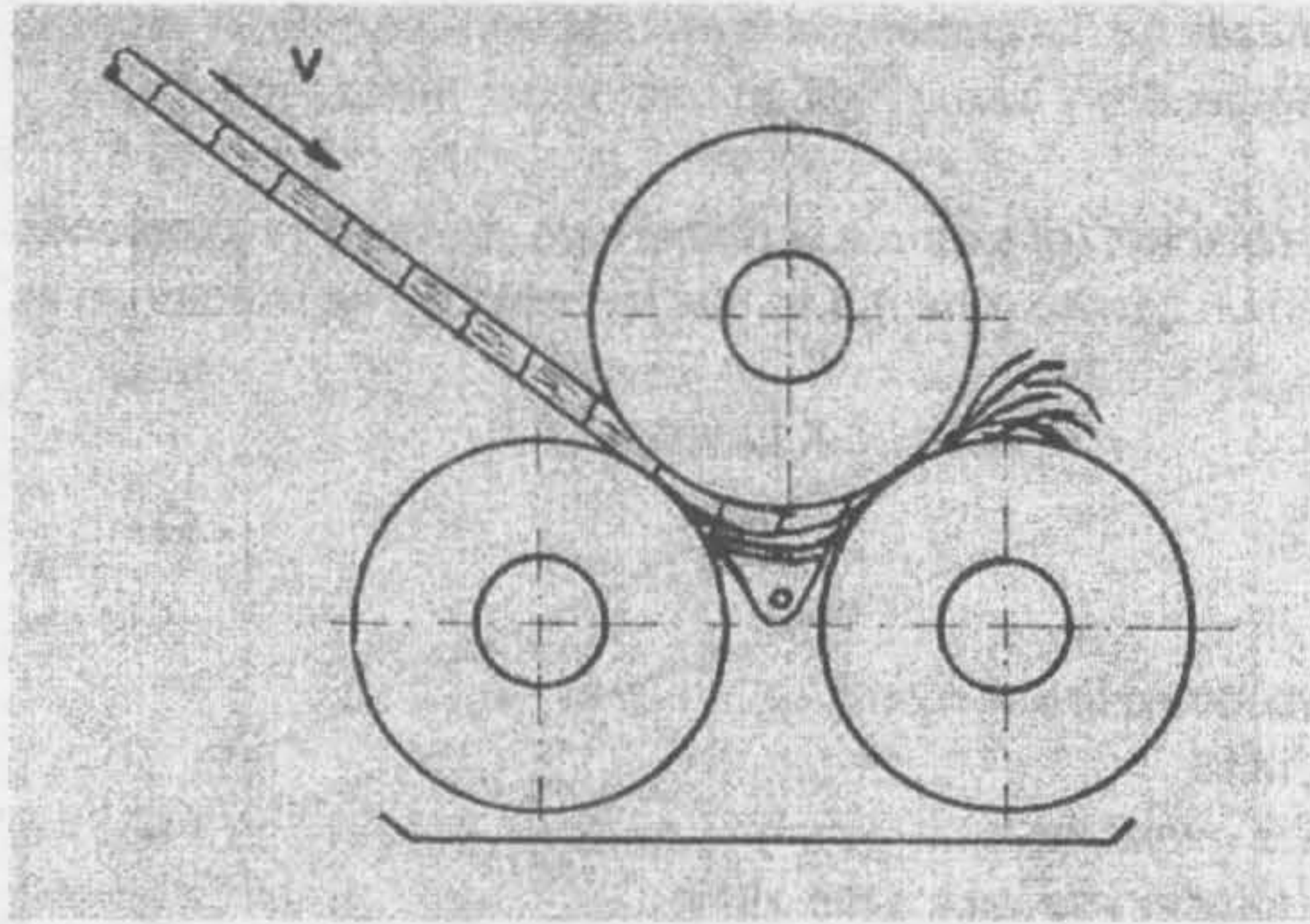
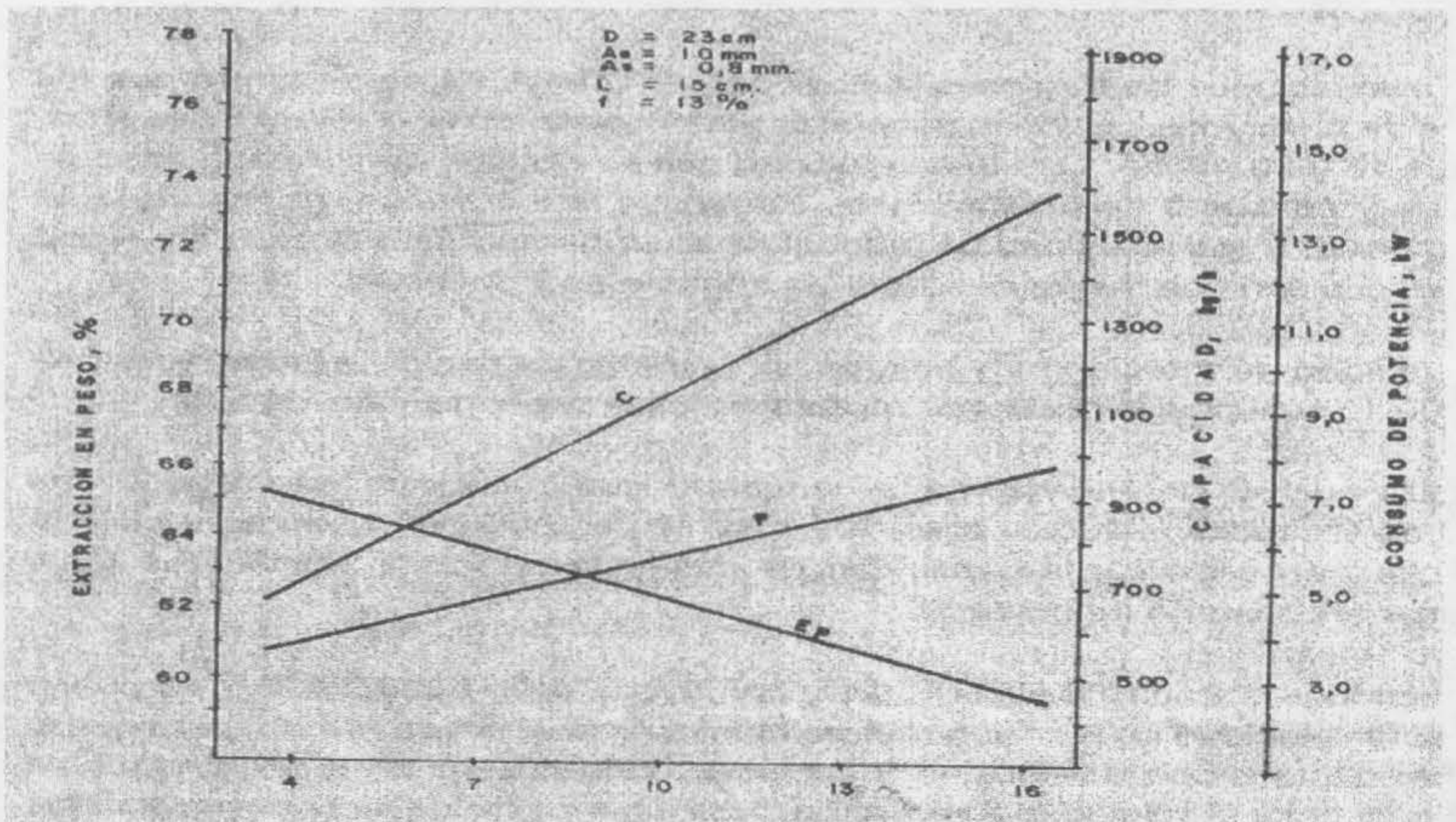


FIGURA 8. Velocidad lineal.

Experimentalmente se encontró que el mejor desempeño del molino se da cuando la velocidad lineal está en el rango de 6 a 8 m/min.



En la ecuación anterior se puede observar que la velocidad de rotación de las mazas es directamente proporcional a la velocidad lineal e inversamente proporcional al diámetro.

Con una velocidad alta se obtiene mayor capacidad de molienda, con un mayor consumo de energía, pero se disminuye la extracción (el bagazo arrastra gran cantidad de jugo, al no tener tiempo para el escurrimiento). Una velocidad muy baja causa pérdidas de tiempo e incrementos en el torque, existiendo la posibilidad de ruptura en los ejes y los engranajes.

Inicialmente los molinos fueron diseñados con una relación de transmisión adecuada a motores con velocidades entre 650 y 850 r/min. Sin embargo, actualmente se consiguen motores de combustión interna con velocidades entre 1500 y 3000 r/min y eléctricos de 1200 y 1800 r/min., originándose velocidades de rotación altas en el molino, y para aplicar las recomendaciones anteriores es necesario instalar un eje intermedio (Figura 10).

INSERTAR FIGURA PENDIENTE

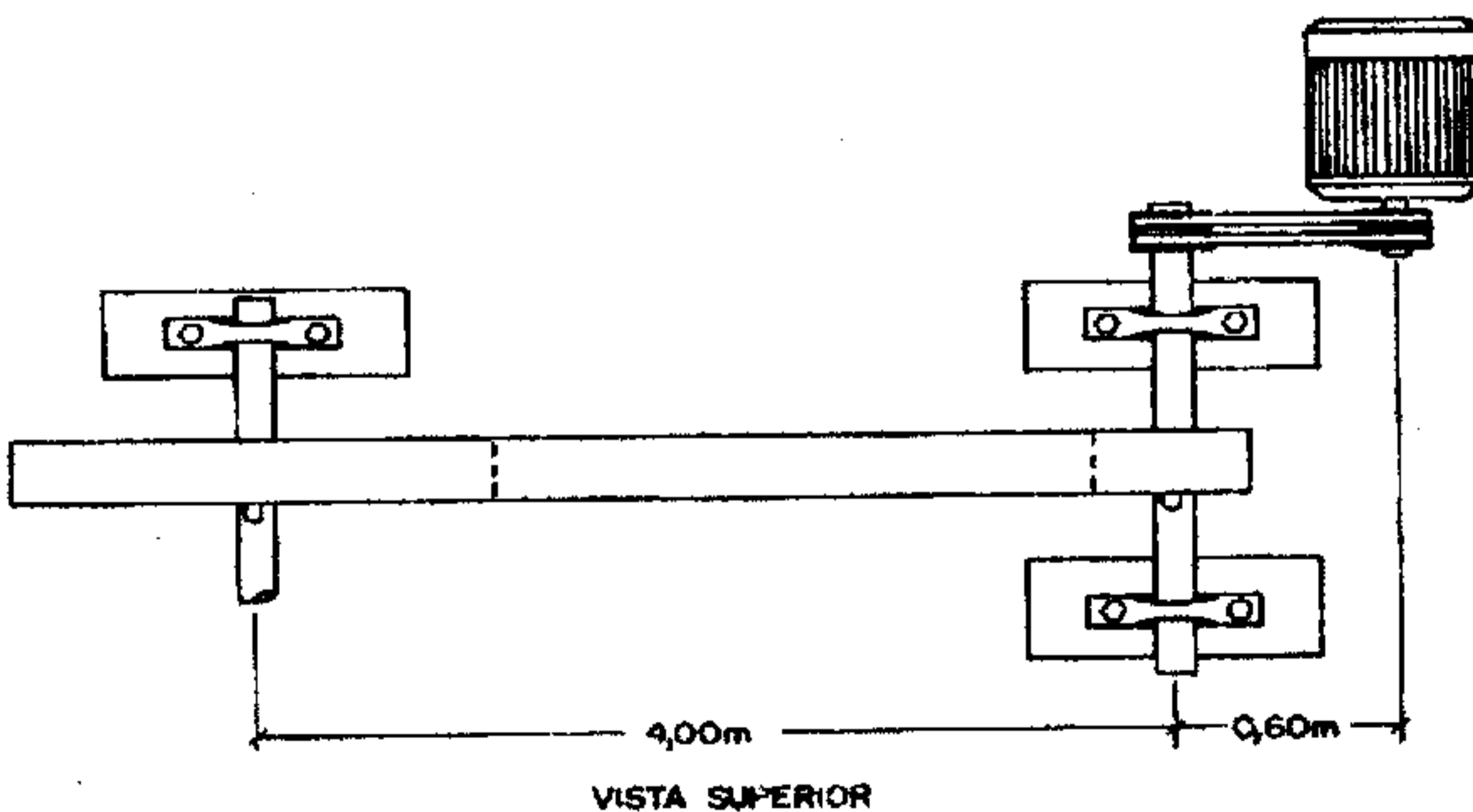


FIGURA 10. Disposición del montaje de un eje intermedio.

En la Tabla 2 se presentan valores de los diámetros de la polea del motor y de la polea 1, para obtener en el eje intermedio 850 r/min. Para calcular el diámetro de la polea 2 se debe conocer el modelo del molino.

TABLA 2. Diámetros de la polea del motor y de la polea recibidora del eje intermedio, de acuerdo con la velocidad del motor.

POLEA MOTOR		POLEA 1 EJE	
VELOCIDAD,r/min	DIAMETRO, cm	DIAMETRO, cm	VELOCIDAD,r/min
1200	14	20	850
1500	14	25	850
1800	14	30	850
2000	14	33	850

Ejemplo: Se van a instalar los siguientes equipos:

Molino:

-Tamaño: 10 x 12

-D maza: 10" = 0.25 m.

-D volante: 39" = 1.00 m.

-Relación de transmisión: 20 : 1

Motor:

Lister, modelo 16/2, 16H.P., 850 rev/min.

Calcular el diámetro de la polea que se debe instalar en el motor, para que quede operando de acuerdo con las recomendaciones dadas anteriormente.

- Velocidad de rotación de las mazas:

$$n = \frac{v}{\pi \times D} = \frac{7 \text{ m/min}}{3.14 \times 0.25 \text{ m}} = 8.9 \text{ rev/min.}$$

Se asumió una velocidad lineal de 7 m/min, que está dentro del rango recomendado.

- Velocidad de rotación del volante:

$$N_v = R_t \times n = 20 \times 8.9 = 178 \text{ rev/min.}$$

Rt: Relación de transmisión.

Cuando en el catálogo del fabricante no se encuentra el valor de Rt, ésta se puede verificar haciendo girar manualmente el volante y contando el número de revoluciones que da éste mientras la maza mayal da 1.

- Cálculo de la polea del motor:

En todo par de poleas se cumple la siguiente igualdad:

$$N_m \times D_m = N_v \times D_v$$

Por tanto,

$$D_m = \frac{D_v \times N_v}{N_m}$$

$$178 \text{ rev/min} \times 1 \text{ m.}$$

$$D = \frac{178 \text{ rev/min} \times 1 \text{ m.}}{850 \text{ rev/min}} = 0.21 \text{ m.}$$

Por recomendaciones del diseño de transmisiones por correa plana, se tiene:

$$\frac{D_v}{D_m} < 5, \text{ con el fin de evitar el patinamiento.}$$

Para este caso sería:

$$1 / 0.21 = 4.9$$

Cuando la velocidad del motor es alta, esta relación resulta mayor de 5 y es necesario instalar el eje intermedio. En la Tabla 2 aparecen los diámetros de la polea de motor y de la polea 1, que hacen que el eje intermedio gire a 850 rev/min. Para calcular el diámetro de la polea 2 del eje intermedio se procede de la forma descrita anteriormente.

7.3 ABERTURA DE ENTRADA (Ae)

Es la distancia que existe entre las superficies de las mazas mayal y quebradora (Figura 11). Experimentalmente se encontró que la abertura de entrada óptima está en el rango de 11 a 15 mm, de acuerdo con el diámetro de la caña.

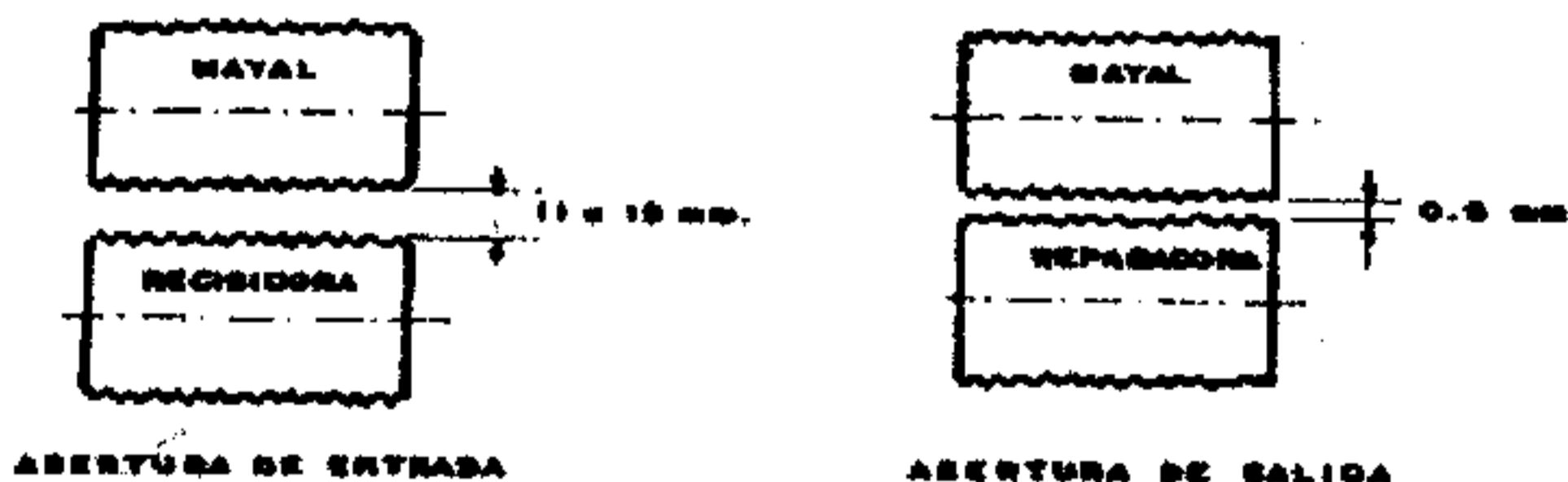
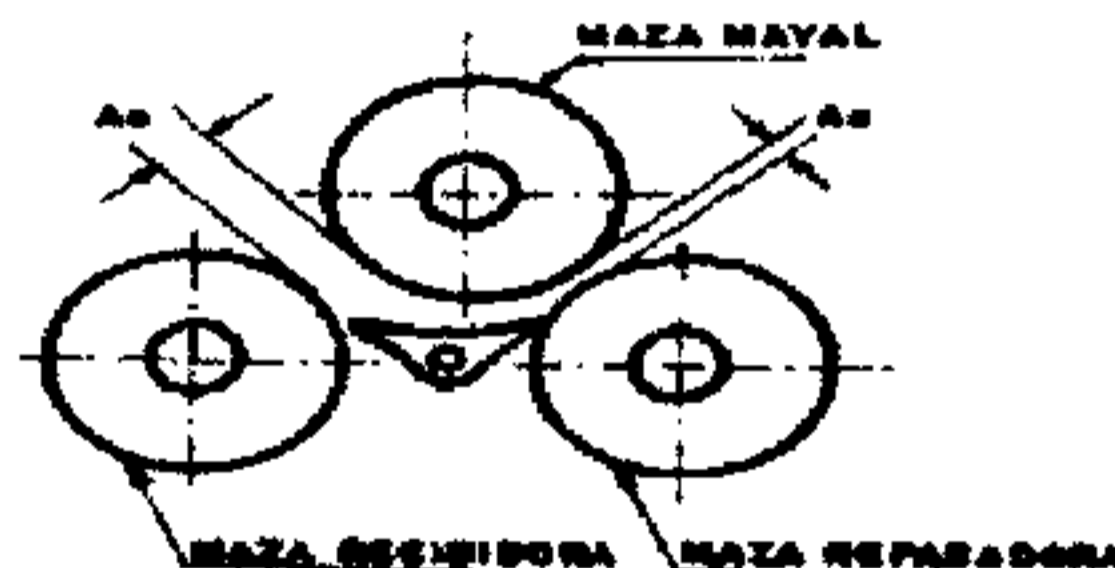
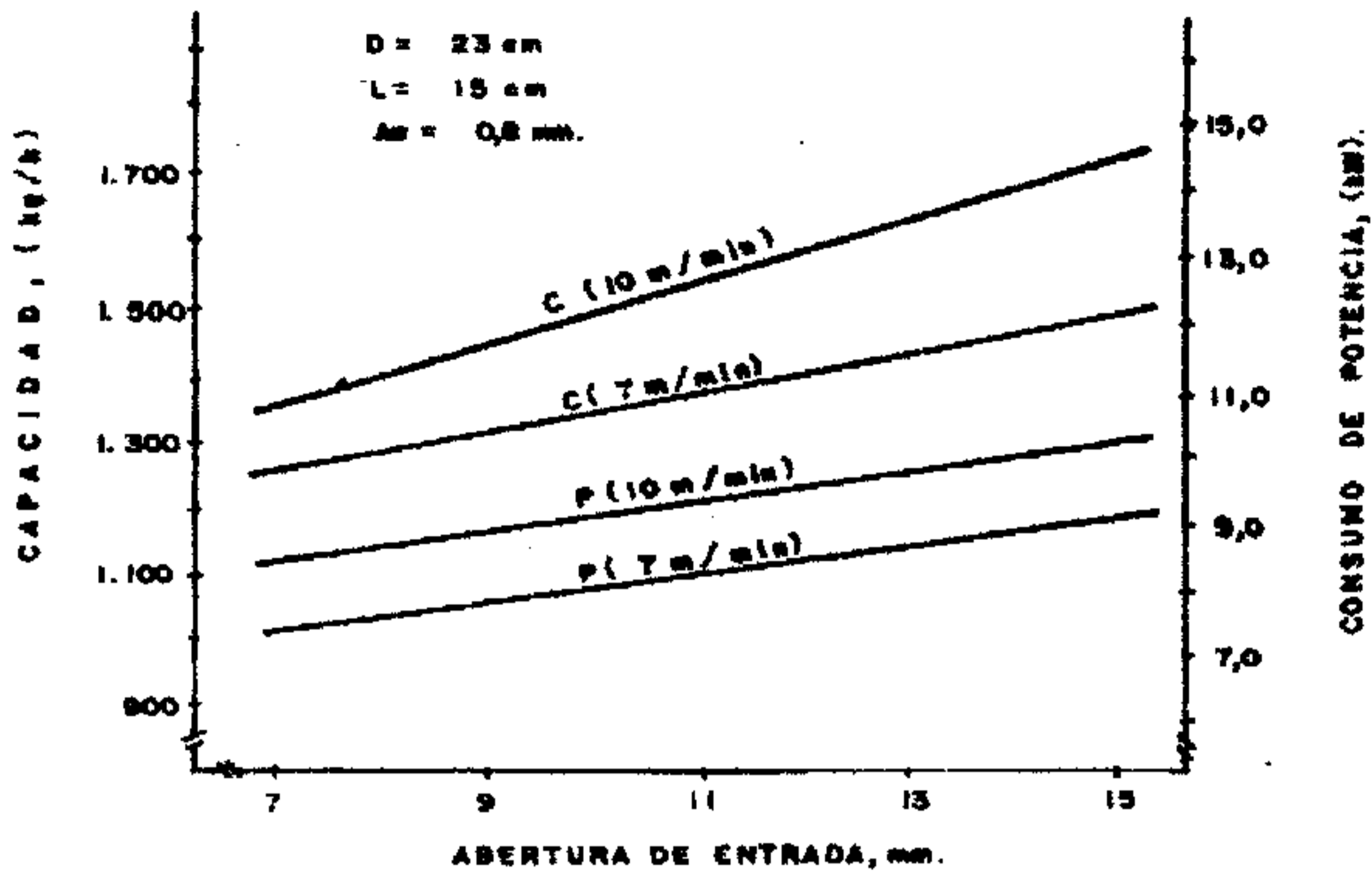


FIGURA 11. Disposición y ajuste entre mazas.



7.4 ABERTURA DE SALIDA (A_s)

Es la separación que hay entre las superficies de la maza mayal y la maza repasadora (Figura 11).

8. CONTENIDO DE FIBRA DE LA CAÑA

El contenido de fibra determina en gran parte el grado de dureza de la caña y depende, entre otros factores, de las prácticas de cultivo, de las condiciones ambientales, del grado de madurez y principalmente de la variedad.

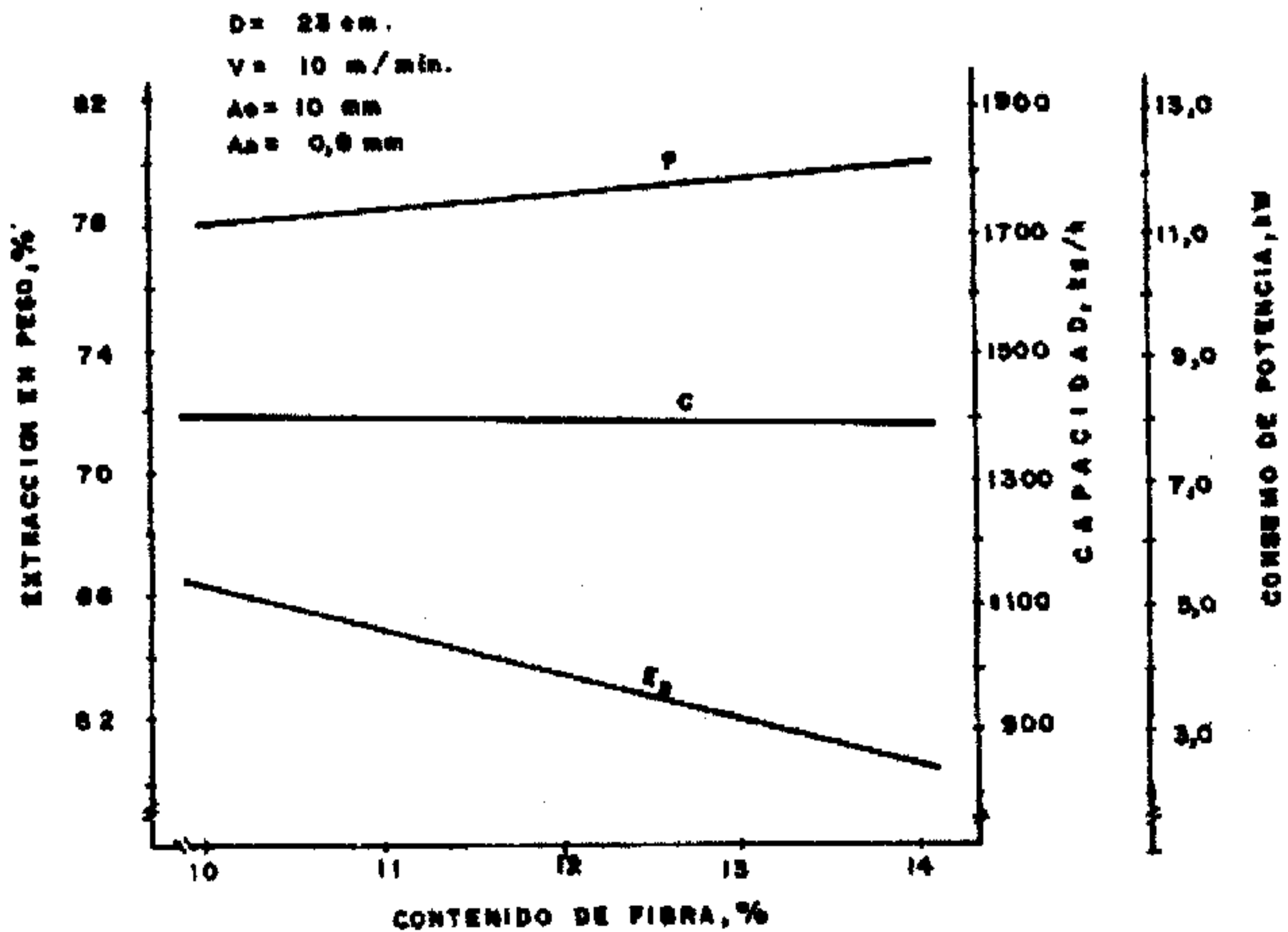


FIGURA 12. Efecto del contenido de fibra de la caña sobre las variables de desempeño del molino.

La fibra no afecta la capacidad cuando no existen limitantes en la potencia disponible. Cuando ésta es apenas la necesaria para un promedio de fibra, al aumentar la fibra se incrementan los requerimientos de potencia y como el motor no puede responder a este aumento, es necesario disminuir la alimentación de caña, reduciendo la capacidad.

La no existencia del efecto directo del contenido de fibra sobre la capacidad se explica porque el molino está pasando un volumen de caña definido por: la longitud de alimentación (ancho del portacaña), la separación entre las mazas del par quebrador y la velocidad.

7.9 NUMERO DE MAZAS

El número de mazas influye notablemente sobre el desempeño de los molinos paneleros, especialmente sobre la extracción.

En la evaluación técnica de un prototipo de molino de cinco mazas realizada en el CIMPA y corroborada en algunos trapiches que tienen instalado este tipo de molino, se encontró que la capacidad de molienda aumenta en 30% con respecto de un molino de similar tamaño pero de tres mazas. El promedio de la extracción en peso y de la humedad del bagazo son respectivamente 63 y 50%.

Con la implementación de la cámara WARD-CIMPA en las hornillas, la cual permite la utilización inmediata del bagazo que sale del molino, siempre y cuando la humedad del mismo sea baja (menor del 50%), se hizo necesario utilizar dos molinos de tres mazas instalados en serie con el fin de obtener bagazo con menor humedad, encontrándose que el promedio de la humedad del bagazo y de la extracción en peso, son de 45 y 68% respectivamente (Figura 13).



FIGURA 13. Montaje de dos molinos de tres mazas en serie.

7.10 RANURADO DE MAZAS

Para facilitar el agarre de la caña y evitar el patinaje de la misma, las mazas poseen canales o ranuras circunferenciales de sección triangular. En la práctica se recomienda 55° como el valor más adecuado para el ángulo de la ranura, pues se logra la proporcionalidad entre el paso (P) y la altura de la misma (Figura 14).

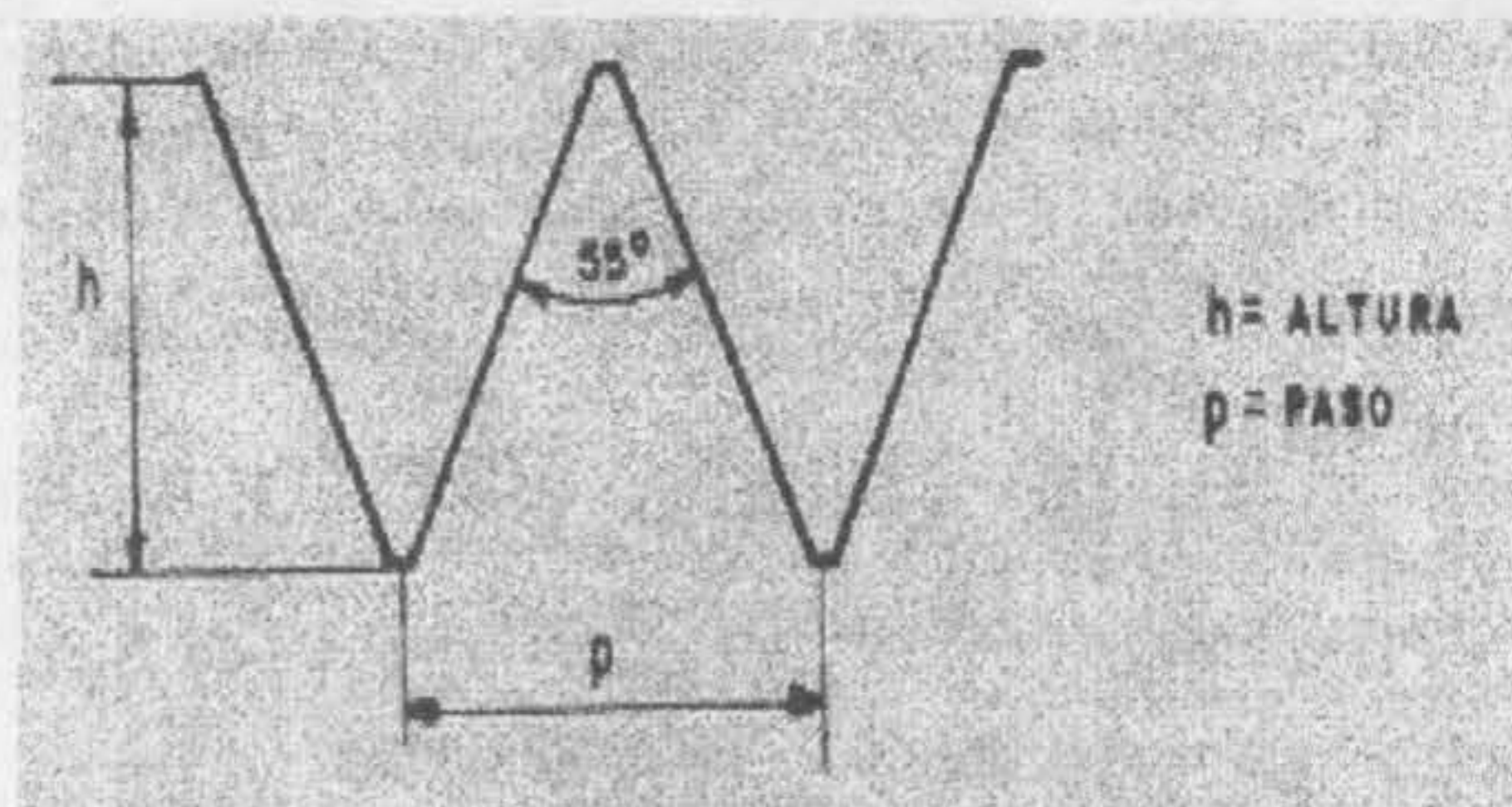


FIGURA 14. Detalle del ranurado de las mazas.

Se conocen dos tipos de ranurados: Tradicional y convergente (Figura 15).

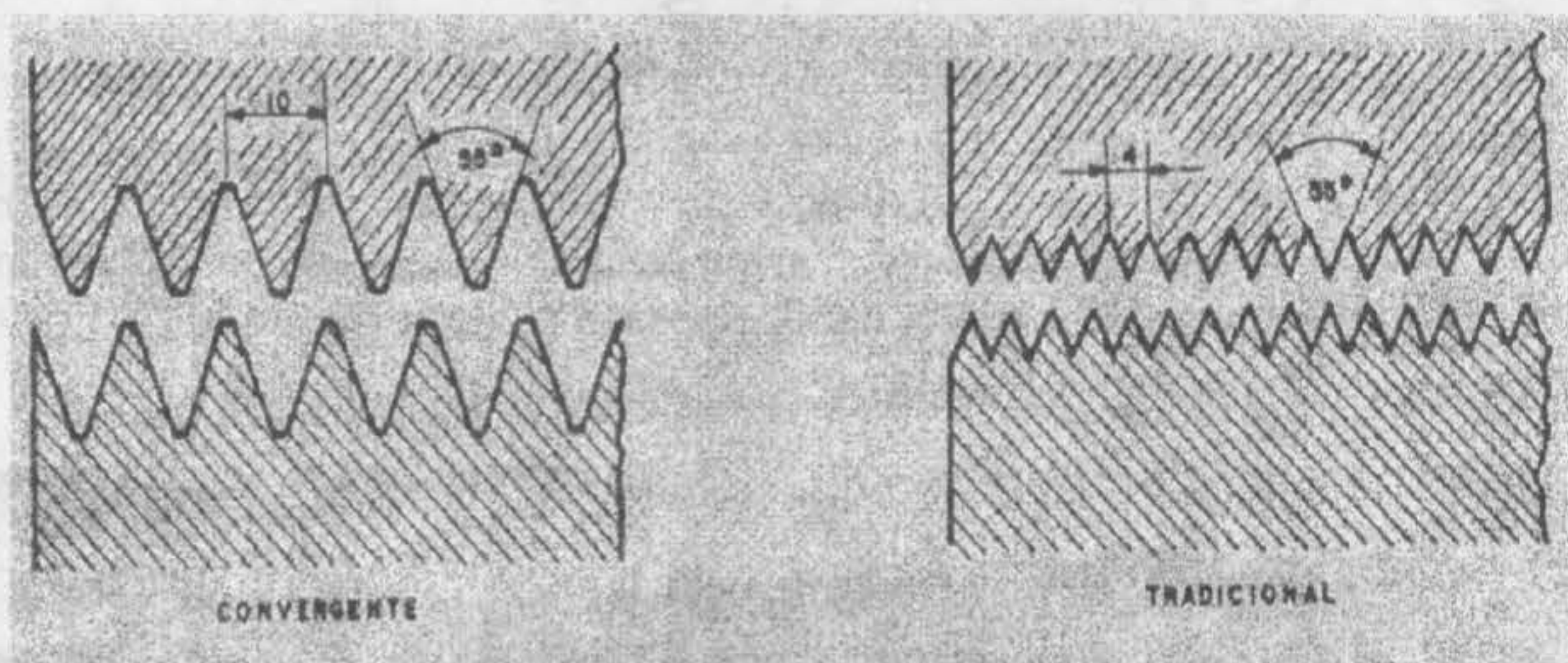
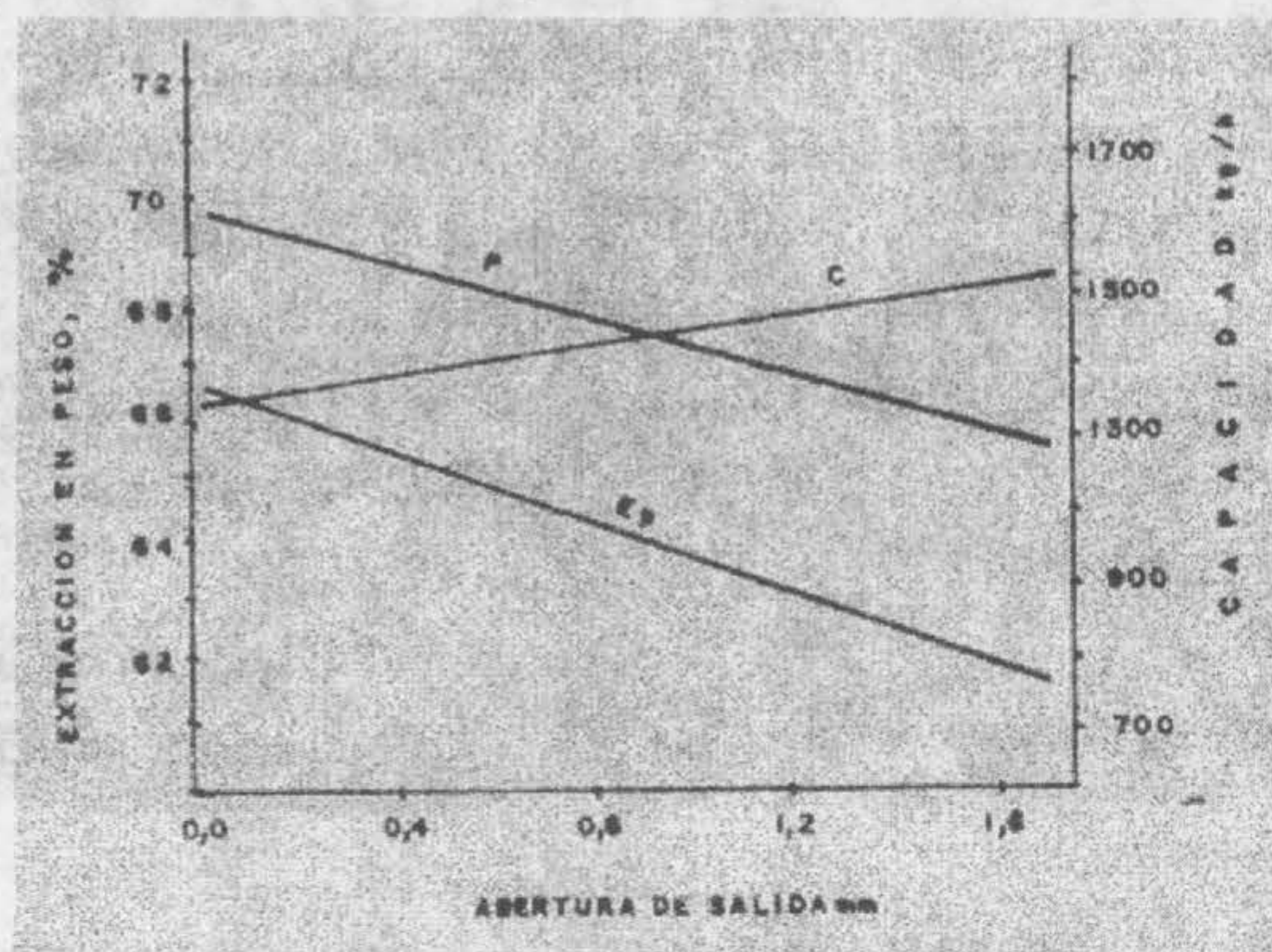


FIGURA 15. Tipos de Ranurado de mazas.



En un ensayo comparativo de los dos tipos de ranurado se encontró que con el convergente se obtiene un 14% más de capacidad y un aumento en la extracción en peso del 2%.

7.11 FACTOR HUMANO

El conocimiento técnico y la destreza del personal encargado de la molienda, que son difíciles de cuantificar, influyen significativamente en el rendimiento del molino. En la mayoría de los trapiches los equipos son operados por personal inexperto, que los ajusta a su voluntad, causando grandes pérdidas de jugo y arriesgando la vida útil de la maquinaria.

8. MONTAJE DEL MOLINO PANELERO

El molino panelero se debe ubicar en la parte más alta del terreno en donde se construye el trapiche, para facilitar el movimiento de los jugos por gravedad.

La distancia entre el eje del motor y el eje del volante del molino debe estar entre 3 y 4 metros (Figura 16).

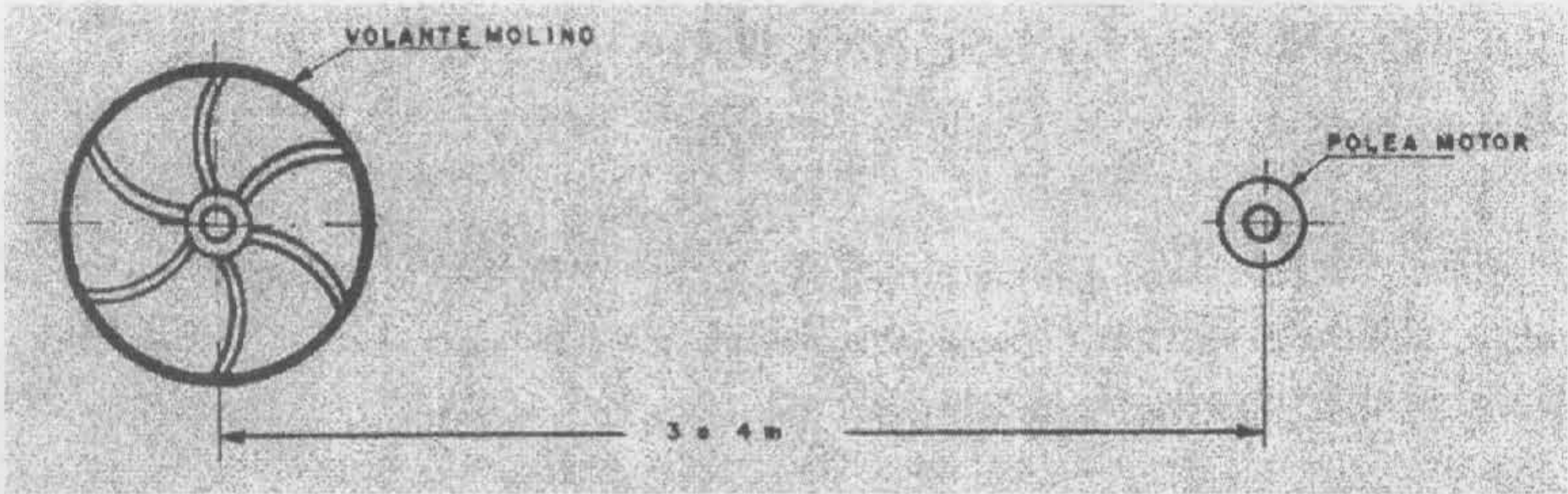


FIGURA 16. Distancia molino-motor.

El portacaña debe estar a un metro de altura del piso (Figura 17)

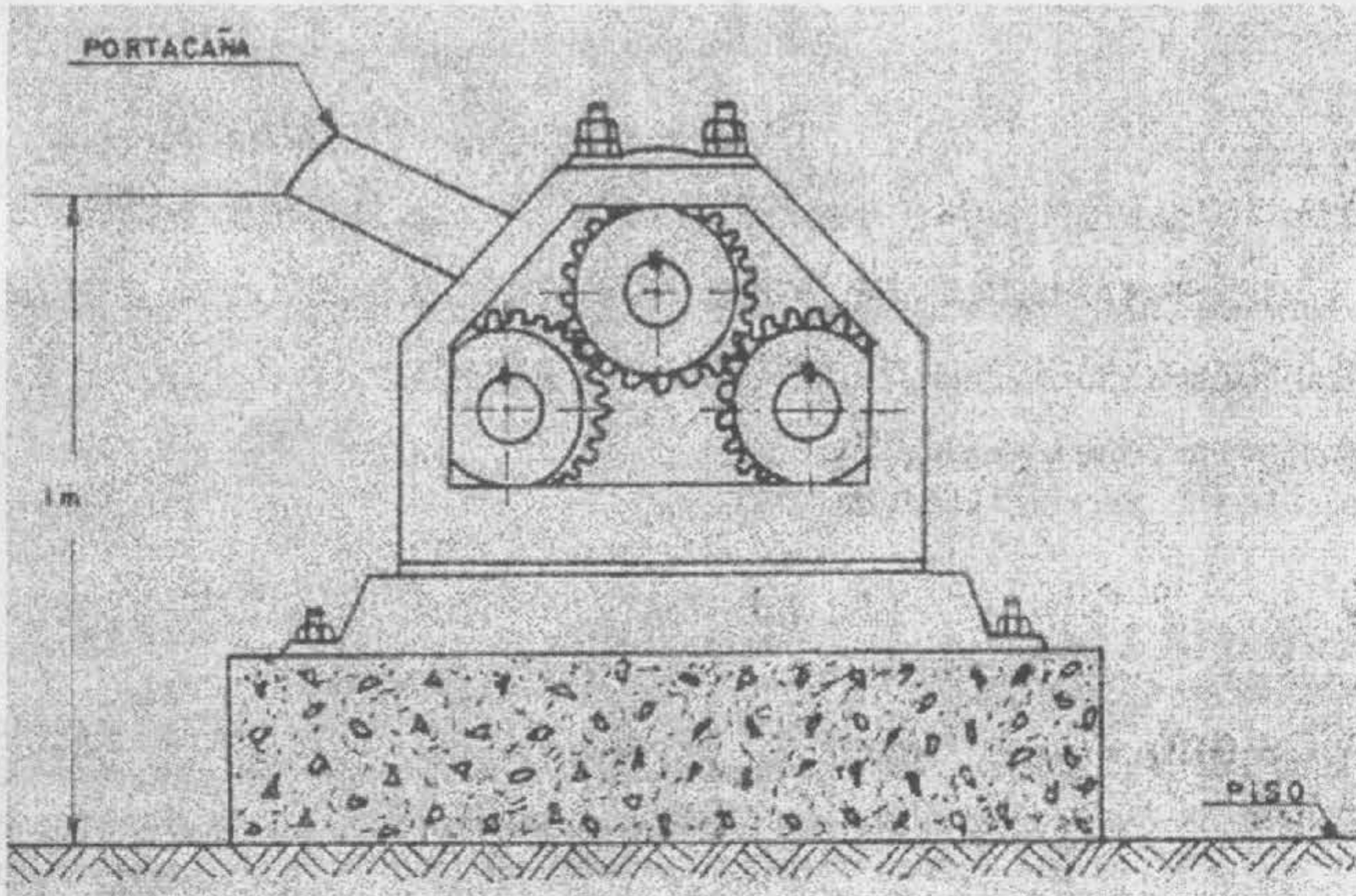


FIGURA 17. Altura del molino.

Mediante un hilo, alinear perfectamente la polea del motor con el volante del molino (Figura 18).

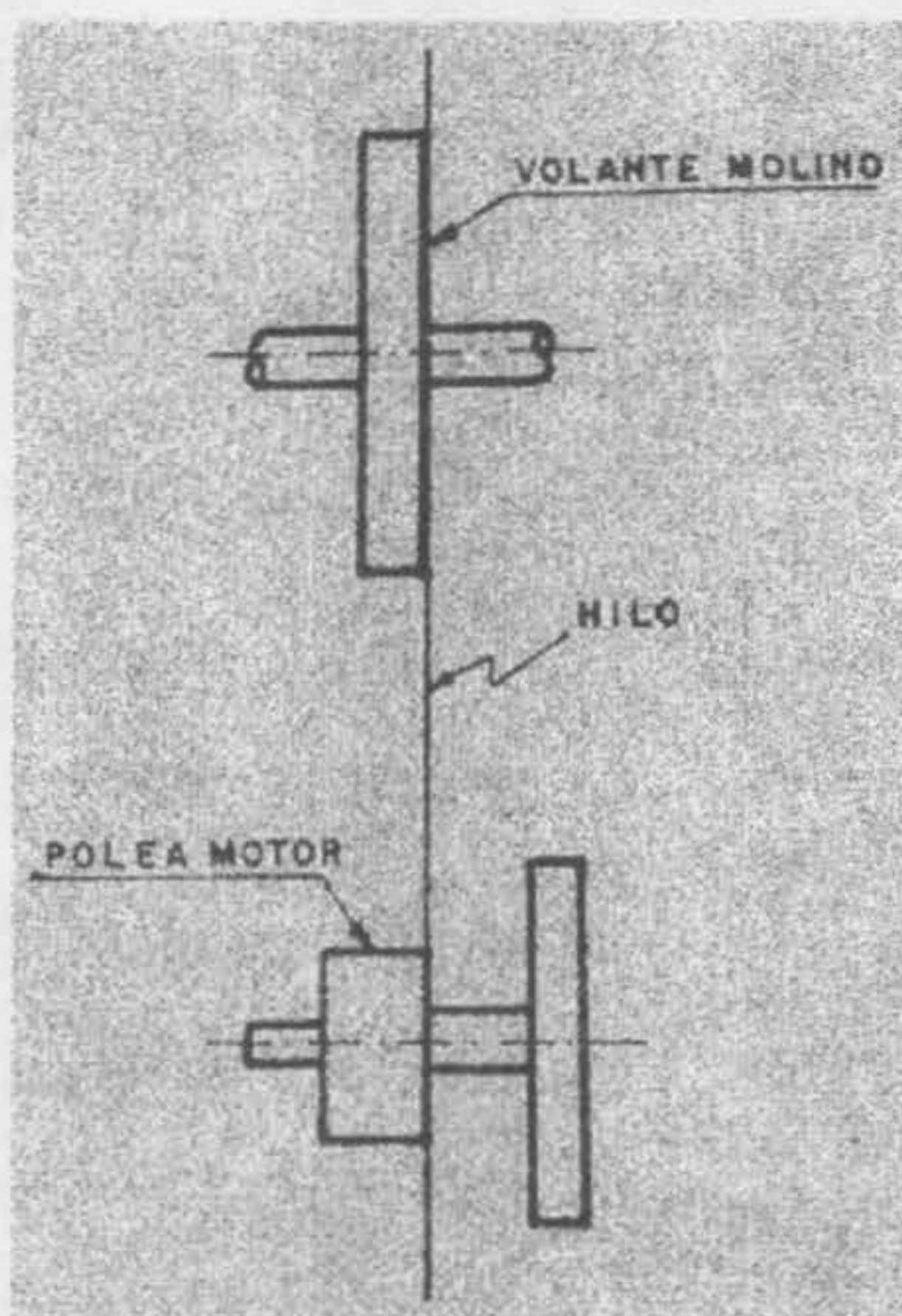


FIGURA 18. Alineación del conjunto molino-motor.

9. MANTENIMIENTO DEL MOLINO

Una buena práctica de mantenimiento incluye la siguiente rutina:

- Conservar siempre limpia la máquina.
- Antes de poner a funcionar el molino, comprobar que todas las tuercas y tornillos estén bien ajustados.
- Verificar que las uniones de la banda plana estén en buen estado.
- Tensionar adecuadamente la banda.
- Dar a las mazas los ajustes adecuados, evitando así el desgaste desigual de las mismas.
- Verificar la lubricación tanto del molino como del motor.
- Terminada la molienda, se deben lavar las piezas del molino que han estado en contacto con el jugo y bañarlas con una lechada de cal.

10. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MOLIENDA

En la selección del molino, la característica más importante para tener en cuenta es la capacidad de molienda, la cual debe estar de acuerdo con la cantidad de caña disponible en el trapiche. Desde el punto de vista mecánico, la capacidad del molino depende principalmente de las dimensiones de las mazas, las cuales a su vez determinan el tamaño del molino, la potencia del motor y las especificaciones de la correa correspondiente.

Si el equipo de molienda se selecciona con base en la capacidad, se podrá operar en forma conveniente para obtener una extracción de jugos y un consumo de potencia aceptables y permitirá moler la caña producida en el área de influencia del trapiche. Entre los factores para considerar en la determinación de la capacidad de molienda se tienen los siguientes:

- Superficie de la finca cultivada en caña (**A**). Se debe considerar el área actual y potencial y si hay posibilidad de moler caña de fincas vecinas.
- Rendimiento agronómico (**R**). Se refiere a la caña producida por hectárea en promedio.
- Período vegetativo del cultivo (**Pv**). Edad de la caña al alcanzar la madurez; depende principalmente de la variedad y de la altura sobre el nivel del mar donde se encuentra el cultivo.
- Frecuencia de molienda (**Fm**). Es el número promedio de moliendas realizadas por año en el trapiche. Depende de la disponibilidad de bagazo seco, de la mano de obra, del clima regional y de la programación de siembras o cortes.
- Duración semanal de la molienda (**Dm**). Es el número de días de la semana trabajados en cada molienda.
- Duración diaria de la molienda (**Hm**). Como en el caso anterior, depende de las costumbres de cada región.
- Relación entre el tiempo real y nominal del trabajo de los equipos (**Tr**). Es el tiempo que operan los equipos, luego de descontar el empleado en el mantenimiento de las máquinas y en el descanso de los obreros. Para las condiciones de los trapiches, el tiempo real fluctúa entre el 40 y el 90% del total, considerándose un 70 a 80% como necesario.

A continuación se desarrolla un ejemplo que ilustra la selección del molino con base en su capacidad:

Se tiene un predio con 20 (ha) en caña, ubicado en la Hoya del Río Suárez. El rendimiento del cultivo es de 120 toneladas (t) de caña por hectárea, con un período vegetativo de 18 meses (meses). El propietario preferiría moler cada tres semanas, para tener en promedio 17 moliendas (mol) al año y trabajar 5 días (d) por semana, durante las 24 horas (h).

Solución:

Total de caña producida en 18 meses:

$$A \times R = 20 \text{ ha} \times 120 \text{ t/ha} = 2400 \text{ t}$$

Caña producida en un año:

$$\frac{2400 \text{ t}}{18 \text{ meses} \times 1 \text{ año}/12 \text{ meses}} = 1600 \text{ t/año}$$

Horas de molienda por año:

$$\text{mol} \times \text{d} \times \text{h} = 17 \text{ mol/año} \times 5 \text{ días/mol} \times 24 \text{ h/día} \\ = 2040 \text{ h/año}$$

Relacionando la producción de caña y las horas de trabajo por año, se tendrá la capacidad real del molino:

$$C_r = \frac{1600 \text{ t/año}}{2040 \text{ h/año}} = 0.784 \text{ t/h} = 784 \text{ kg/h}$$

Conocido el tiempo real de trabajo del molino (**Tr**), se calcula la capacidad nominal (**Cn**), con la cual se puede seleccionar en las tablas de recomendaciones o en catálogos de fabricantes. Si para el ejemplo se considera como tiempo real el 75% del tiempo total, entonces la capacidad nominal será:

$$C_r = C_n \times Tr$$

$$C_r \quad 784 \text{ kg/h}$$

Por tanto, $C_n = \frac{C_r}{Tr} = \frac{75}{100} = 1045 \text{ kg/h}$

Esto significa que se debe seleccionar un molino con una capacidad mayor que la realmente necesaria en el trapiche, con el fin de compensar los tiempos de mantenimiento de equipos y descanso de los operarios.

En la Tabla 3 se muestra un resumen de las características principales de los molinos fabricados en el país. Para el ejemplo se podría seleccionar un molino entre los siguientes: Amagá 12D, Apolo 3B, Gaitán 9x11, Gerrey 13V, Hakspiel 8, Penagos TH-8, panelero R4 o Tornometal TM-9. De acuerdo con la recomendación de potencia dada anteriormente, el motor sería como mínimo de 9 HP

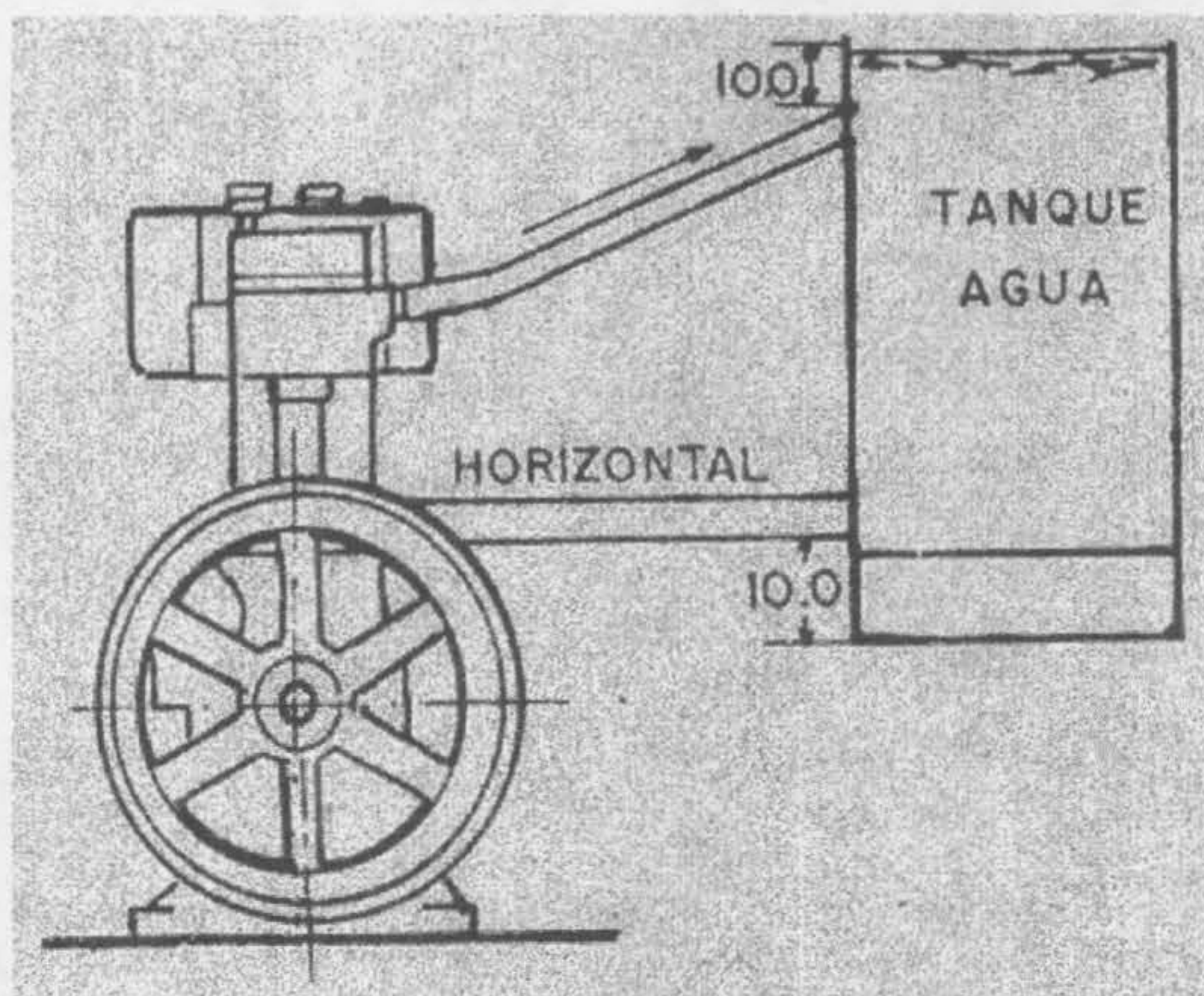
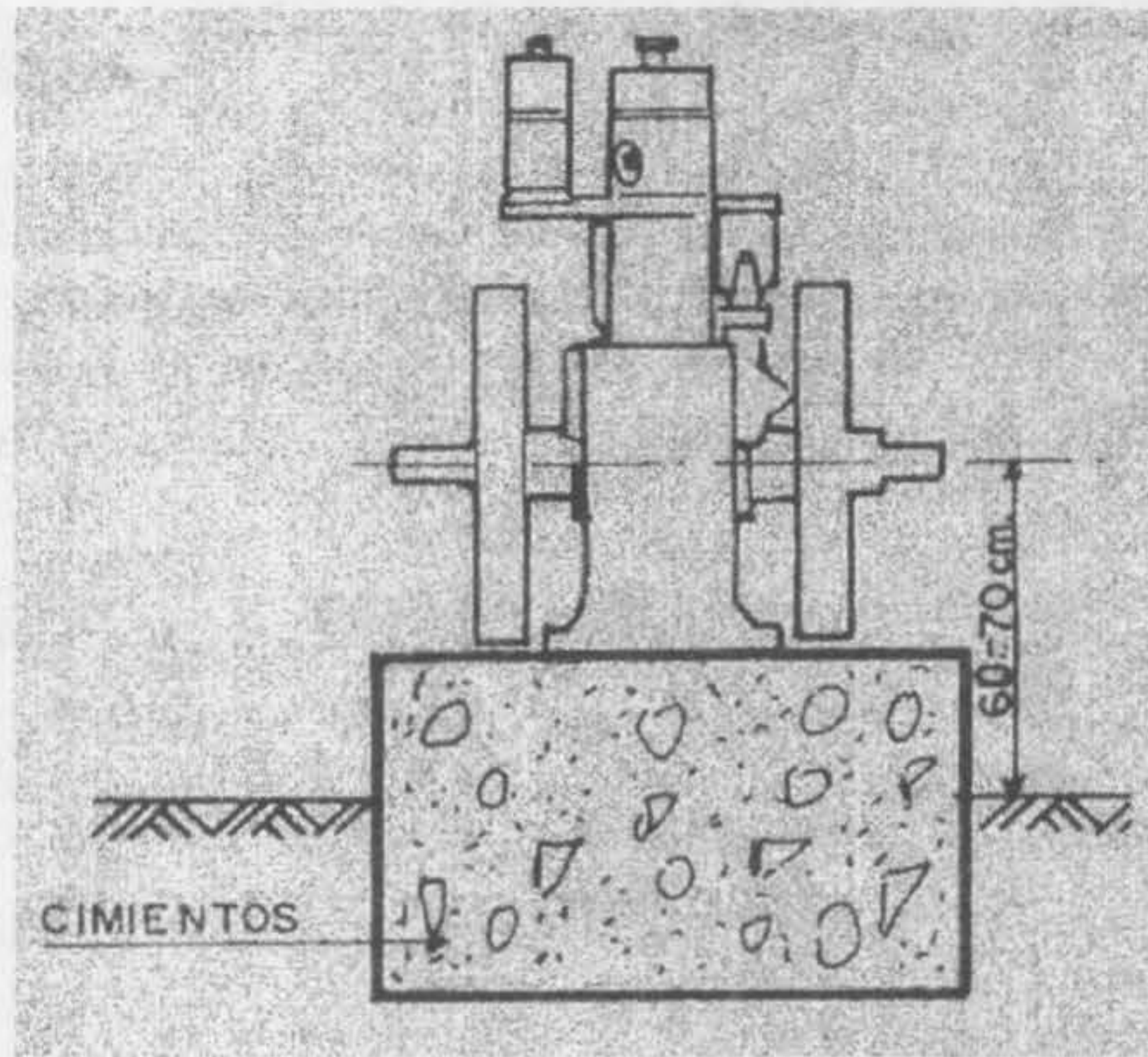


TABLA 3. Recomendaciones de velocidad de mazas (v) y abertura de entrada (Ae) para los molinos colombianos con los estimativos de capacidad nominal (Cn) y potencia (P).

MARCA	MODELO	MAZA	MAYAL	Ae	Cn	P
D x L	v	(cm)	(r/min)		mm	kg/h
kW	15	14x14	14-18	11	330	3
Amagá	14	17x17	12-15	11	600	5
	13	19x18	10-13	12	860	6
	12 D	20x22	9-13	12	1.090	8
	11 D	24x26	8-11	14	1.610	12
	10 D	32x30	6-8	15	2.340	15
	9 D	33x41	6-8	15	3.300	24
Apolo	3 B	20x19	9-13	12	1.000	7
	3 C	22x25	9-12	13	1.370	9
	4 C	24x23	8-10	14	1.510	9
	5 STD	27x23	7-10	14	1.750	12
	8 STD	33x31	6-8	15	2.420	15
El Condor	8x10	20x25	9-13	12	1.240	9
	9x11	23x28	8-10	13	1.620	12
	11x15	28x40	7-9	15	2.420	15
La Campana	9x11	23x28	8-10	13	1.620	12
	11x12	28x30	7-9	15	1.810	13
	5x5	13x13	15-20	11	200	2
Gaitán*	6x8	15x23	13-17	11	650	5
	9x10	23x25	8-11	13	1.450	9
	11,5x14	29x36	7-9	15	2.360	15
	15x20	40x51	5-7	16	3.53	24
Sucesor	18x24	46x61	4-6	18	4570	30
		21x30	9-12	12	1.500	10
Gerrey	13-V	20x25	9-13	12	1.240	9
Mascota		14x13	14-18	11	280	3
	5	13x13	15-20	11	200	2
	6	15x20	13-17	11	570	5
	8	20x25	9-13	12	1.240	9
Hakspiel	10	25x25	8-10	14	1.530	10
	10 A	25x31	8-10	14	1.720	12
	12	31x31	6-8	15	2.250	15
	2 A	31x36	6-8	15	2.640	18
	R-2	14x13	14-18	11	280	3
	R-4	21x20	9-12	12	1.090	7
El Panelero	R-5	20x25	9-13	12	1.240	9
	R-8	21x25	9-12	12	1.300	9
	R-14	27x33	7-9	14	2.050	15
	R-20	33x46	6-8	15	3.000	20
	TH-6	20x15	9-13	12	850	6
	TH-8	20x25	9-13	12	1.240	9
	TH-10	25x25	8-10	14	1.670	12
Penagos	TH-11	25x31	8-10	14	1.860	13
	TH-12	31x31	6-8	15	2.250	15
	TH-16	31x41	6-8	15	2.640	18
Tomometal	TM-9	22x23	8-11	13	1.320	9
	TM-11	24x28	8-10	14	1.690	12

* Sólo molinos de 3 mazas.