

## 7.1. Trituración primaria I

### 7.1.1. Introducción

La trituración primaria recibe, normalmente, el todo-uno o mineral bruto de la explotación minera y realiza la primera reducción de tamaño. Los equipos utilizan preferentemente las fuerzas de compresión y las de impacto o percusión.

Los equipos se deben caracterizar por la dimensión del tamaño que admiten, por su robustez y por la capacidad para admitir o rechazar elementos o componentes no deseados mediante los sistemas apropiados. En toda operación de reducción de tamaño va a existir un roce, más o menos notable, dependiendo del tipo de fuerza aplicada y de la forma en que se aplica, diseño del equipo, entre el material a fragmentar y ciertas partes del equipamiento. Dado el carácter normalmente abrasivo de las sustancias minerales, va a producirse un desgaste de partes más o menos vitales de los equipos mineros de fragmentación.

Los equipos característicos para la realización de este trabajo son de tres tipos, caracterizados por la forma en que aplican la fuerza necesaria para la fragmentación.

- a) Quebrantadoras, machacadoras o trituradoras de mandíbulas. Estos equipos utilizan como fuerza predominante la compresión y la aplican de forma discontinua por atrapamiento entre dos mandíbulas, una fija y otra móvil mediante diferentes sistemas de actuación. Pueden ser de simple o de doble efecto, denominación que se corresponde con la traducción del inglés de single toggle (teja, palanca o placa de articulación) o double toggle (doble palanca).
- b) Trituradoras giratorias. Utilizan el mismo principio que las de mandíbulas pero lo aplican de forma giratoria por lo que parece que el proceso, aun siendo discontinuo, tiene la apariencia de continuo. En el efecto de giro el material situado en un punto es comprimido y fragmentado entre la nuez (ó cabeza) y el cóncavo y pasado el instante de presión es liberado. El efecto desde el punto de vista exterior al equipo es de un funcionamiento continuo.
- c) Otros equipos, trituradores de choque, de impacto y de percusión. Utilizan la energía del impacto, la fuerza de compresión o el cizallamiento según la tecnología empleada.

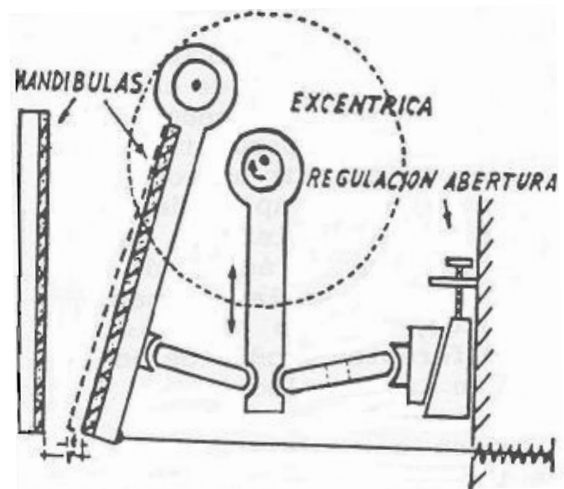
### 7.1.2. Trituradoras de mandíbulas

#### 7.1.2.1. Trituradoras de mandíbulas Blake o de doble efecto

Consta de una mandíbula fija y una móvil que está articulada en su parte superior y que por oscilación sobre este eje, se puede acercar y alejar de la mandíbula fija, comprimiendo la roca entre ambas en este movimiento.

La fuerza para la compresión se comunica a la mandíbula móvil mediante el giro de un segundo eje excéntrico, con un gran volante de inercia, que mueve una biela y esta acciona dos placas o tejas entre la mandíbula móvil y un punto fijo. Este tipo de dispositivo es un eficiente multiplicador de fuerzas que permite fragmentar las rocas y minerales entre las mandíbulas del equipo cuando estas se acercan y liberar la presión cuando se separan.

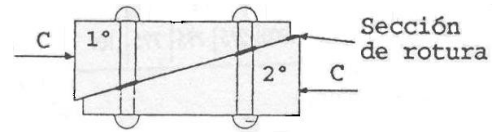
Para garantizar el retroceso de la mandíbula móvil y mantener unido todo el conjunto de piezas móviles existe un vástago con un muelle de presión que es comprimido al cerrarse la mandíbula y fuerza la apertura en la fase de abertura.



El trabajo es alternativo y por este motivo es necesario disponer de volantes de inercia para facilitar un funcionamiento más regular de los accionamientos y motores.

a) **Sistema antidesgaste.** Lo forman las placas, desmontables, que recubren las mandíbulas, construidas en acero al manganeso de alta resistencia al desgaste<sup>1</sup>. Estas placas, en el diseño del equipo, se prevén con la opción de reversibilidad (cambio de posición) para aumentar la durabilidad dado que el mayor desgaste se produce en la boca de salida de los productos triturados. Las placas pueden ser lisas o acanaladas siendo preferible este último método de fabricación ya que facilita la fragmentación.

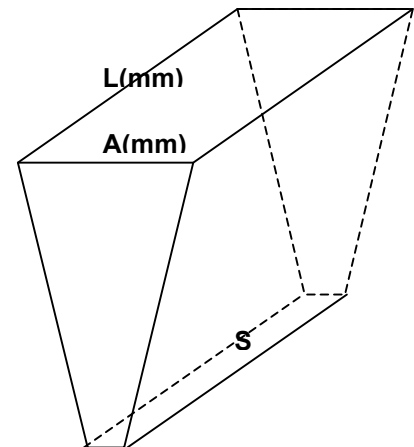
b) **Sistema antiintritables.** Una de las palancas o placas se diseña de menor resistencia (mediante perforado, disminución del espesor, acoplamiento mediante tornillos calibrados, etc.), de tal forma que se rompe ante la presencia de un intriturable de resistencia superior a la prevista, cesando en el momento de la rotura la transmisión de esfuerzos y liberando la abertura de las mandíbulas mediante la acción del resorte (muelle tensor). Este sistema presenta el inconveniente de tener que parar el equipo en el momento que se produce el imprevisto y sustituir la pieza rota con lo que implica de parada de producción.



c) **Sistema de regulación.** El mecanismo de regulación del tamaño de salida se fundamenta en la modificación de la distancia de las mandíbulas actuando sobre la placa fija que soporta una de las palancas. Se acerca o aleja todo el conjunto de la mandíbula móvil con respecto a la fija. Un método consiste en un juego de cuñas (sistemas hidráulicos de actuación, adición de placas de diverso espesor, etc.).

d) **Denominación del equipo.** Se denomina, normalmente, por las dimensiones de la boca de carga  $A \times L$ , expresado normalmente en mm, o bien por la superficie de la boca de descarga para el reglaje elegido.

e) **Forma de la boca.** La boca de la trituradora suele ser cuadrada o rectangular siendo el largo de la boca entre 1 y 1,5 veces el ancho. La salida inferior es necesariamente rectangular, forma de ranura, por el efecto de cono que impone la reducción de tamaño.



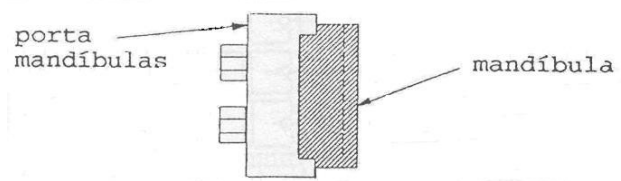
f) **Ángulo de las mandíbulas.** Normalmente inferior a  $26^\circ$  para que la roca o el mineral sea realmente molida y no salga despedida en dirección contraria a la circulación del material.

g) **Revoluciones del volante.** La velocidad de rotación está relacionada con la verticalidad de las mandíbulas y con la geometría de las mismas de tal forma que el material troceado descienda en la cámara de trituración en la proporción adecuada a la velocidad de rotación, sin producir pérdidas de producción ni bloqueo del equipo. La velocidad es normalmente mayor cuanto más pequeño es el equipo y esta comprendida entre 90 y 300 r.p.m.

h) **Regulación.** Variable relacionada con el tamaño y granulometría de los productos, es la máxima separación de las mandíbulas en su parte inferior, distancia entre mandíbulas en el punto más alejado o posición abierta, y se mide normalmente en cm. Se representa por "s" y nos define el tamaño máximo que puede salir de la trituradora. En el producto de salida suele haber de un 15% a un 25% de producto de dimensión mayor que el reglaje, y el tamaño máximo puede ser hasta un 60% mayor que el reglaje por la forma de ranura de la abertura de salida. ( $D_{max} \approx 1,6 \cdot s$ ).

<sup>1</sup> El acero al manganeso se endurece mediante golpeo durante la fabricación.

- i) **Recorrido.** La oscilación de la mandíbula móvil en su parte inferior, el trayecto recorrido en línea recta, se denomina regulación y se representa por “d”. Con las definiciones anteriores, la apertura mínima para una regulación dada es  $e(cm) = s - d$ .
- j) **Razón de reducción.** Es la relación entre los productos de entrada y los de salida medida sobre el  $d_{80}$ . Está comprendido entre 4 y 8 normalmente, siendo el valor de trabajo habitual una relación de 4 ó 5.
- k) **Productos adecuados.** Es una máquina muy resistente por su diseño y funcionamiento, trabaja fundamentalmente por compresión, por lo que es adecuada para la mayoría de los productos y especialmente indicada para productos muy abrasivos. No está indicada para productos pegajosos (por su humedad o por su naturaleza) ya que la descarga es por gravedad y la evacuación del producto molido en estos casos se dificulta.
- l) **Mandíbulas.** Construidas normalmente de dos piezas, una parte de material resistente para la fragmentación, normalmente acero al manganeso endurecido, y otra parte que hace de soporte de la anterior de resistencia adecuada. Normalmente son acanaladas, dependiendo el diseño de los canales de cada fabricante, ya que este diseño, acanalado, produce menos finos que las mandíbulas lisas.



- m) **Instalación.** Son máquinas muy pesadas, robustas, de bastantes toneladas, que además trabajan mediante un movimiento vibratorio. Los esfuerzos transmitidos a las bases de hormigón que las sustentan son de gran amplitud y poca frecuencia. Lo anterior hace necesario considerar en el cálculo de las fundaciones un coeficiente de seguridad del orden de 3 o superior, lo que representa para una máquina de 30 t considerar en cálculo 90 t, y además considerarlas con un cierto coeficiente dinámico.
- n) **Motor de accionamiento, potencia necesaria.** Se utiliza en el cálculo de la potencia necesaria de accionamiento la fórmula de Bond con los pasos de malla del producto identificados para el 80%, ( $D_{80}$  y  $d_{80}$ ), y utilizando los coeficientes de mayoración, por el trabajo alternativo y la irregularidad de la carga, siguientes:

1. **Fórmula de Bond:**

$$W_B = 10 \cdot W_i \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$$

2. **Potencia:**  $P(kW) = W_B (kWh / t) \cdot T(t / h) \cdot F_s$

3. **Coeficientes de seguridad o de mayoración:**

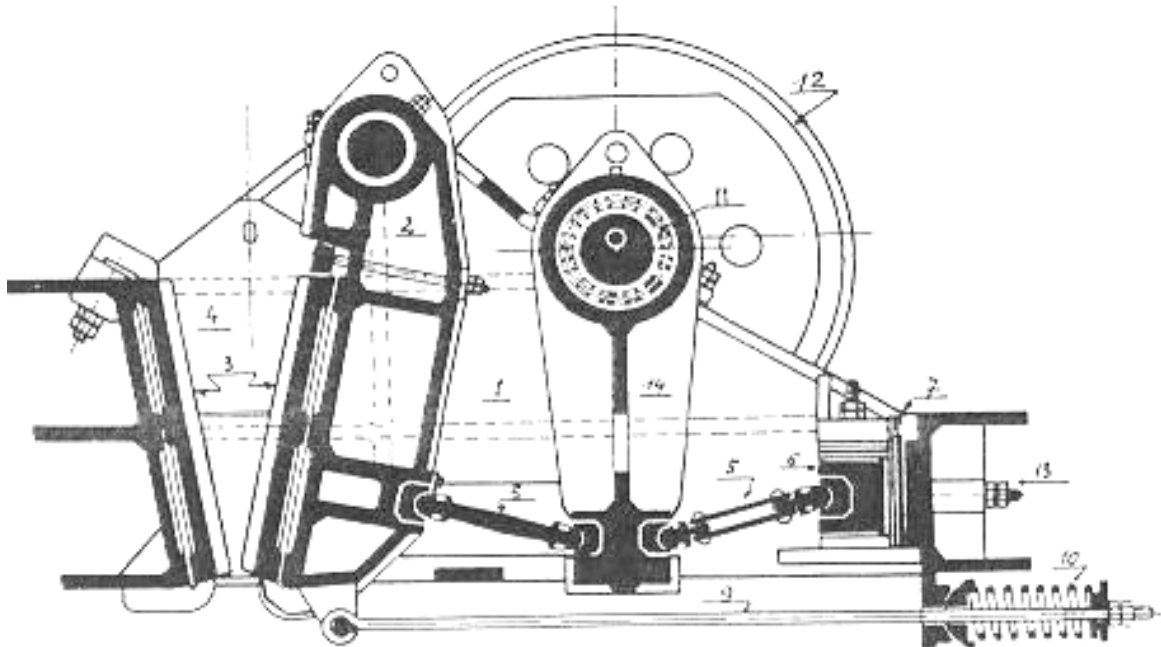
- Fs: 1,0 Potencia base de cálculo (teórica).  
 2,0 Trituradoras de mandíbulas.  
 1,6 Trituradoras giratorias y de percusión.  
 1,3 Conos trituradores, trituradoras de cilindros.  
 1,3 Molinos de barras y molinos de bolas.

Cuando la potencia resultante del cálculo anterior supera la admisible por el concepto de resistencia mecánica de la máquina, concepto este que siempre debe ser verificado, es necesario ir a un modelo superior o bien plantearse otra solución.

**7.1.2.2. Elementos principales de la trituradora Blake**

Siguiendo la referencia del esquema se identifican las partes principales siguientes:

- a) **Bastidor.** De concepción robusta, está construido normalmente en acero laminado, en un solo bloque (monobloque). Si se construye en varios bloques, por el tamaño del equipo, estos trabajan como una unidad. Existen bastidores de fundición de resistencia adecuada.



**Figura 7.1.** Machacadora Blake. Realización moderna.

- b) **Mandíbula móvil.** Construida en acero moldeado de alta calidad, se apoya en un eje que actúa de balancín y que va firmemente anclado al bastidor. Gira sobre cojinetes de rodillos y soporta los esfuerzos que genera la fragmentación.
- c) **Mandíbulas.** Fija y móvil, ya descritas anteriormente. A veces, la mandíbula móvil se denomina balancín. La disposición de la mandíbula fija puede ser en forma de ángulo con la vertical (tal como se indica en el esquema) o en posición totalmente vertical para facilitar la caída de los productos triturados.
- d) **Cámara de compresión.** Espacio entre mandíbulas, varía con el movimiento de oscilación e identifica la capacidad en producción horaria de la trituradora. Lateralmente está protegido por dos placas de desgaste que delimita la cámara de trituración. Su forma, delimitada por las mandíbulas y los laterales, se puede modificar variando la forma de las mandíbulas, curvándolas, y así conseguir que el material en su avance no atore la máquina. En general evitar el atranque de la máquina se puede conseguir por los procedimientos siguientes:
1. *Modificando  $\alpha$ , ángulo que forman las mandíbulas.*
  2. *Curvando las mandíbulas, normalmente la mandíbula móvil, para conseguir un perfil más constante.*
  3. *Aumentando el número de revoluciones del volante.*
- e) **Placas de arriostamiento o de articulación.** Transmiten, junto con la *biela* (14), el movimiento de rotación del volante a las mandíbulas, transformándolo en un movimiento de oscilación o vaivén. Una de las placas, normalmente la ligada al sistema de regulación de placas, está dimensionada como sistema de intriturables. Tienen las funciones siguientes:

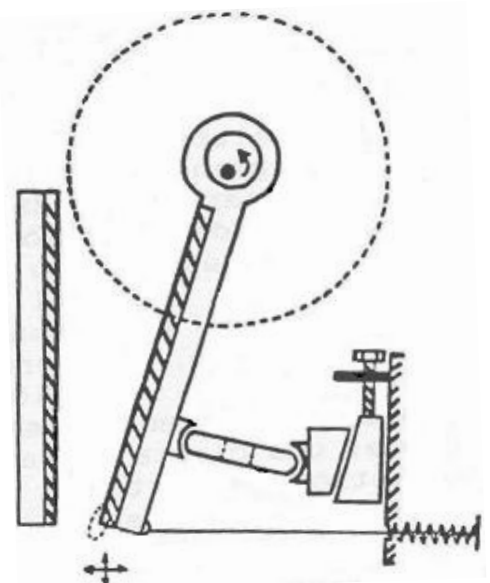
1. *Transmitir el esfuerzo de la biela a la mandíbula móvil.*
  2. *Variar el reglaje mediante técnicas del tipo:*
    - I. Variar la posición de las placas, desplazar placas en forma de cuña.
    - II. Modificar el espárrago de reglaje (variar longitud).
    - III. Cambiar la quicionera, diferentes tamaños o desplazarla (13).
    - IV. Introducir placas de diferente grosor entre la quicionera y el soporte.
    - V. Otros procedimientos.
  3. *Hacer de elemento de seguridad o fusible. Cuando el esfuerzo rebasa un valor pre-determinado de protección del equipo, el esfuerzo de compresión se transforma, normalmente, en un esfuerzo de cortadora y siega los bulones instalados que están normalmente calibrados.*
- f) **Quicionera.** Soporte que sirve de alojamiento de las placas de arriostamiento y permite un movimiento de oscilación y giro. Admite o facilita la introducción de placas de regulación (7).
- g) **Varilla de recuperación.** Su misión es mantener la mandíbula móvil contra las placas de arriostamiento. Transmite la fuerza del resorte (10) a la mandíbula móvil para facilitar la abertura de la mandíbula.
- h) **Eje excéntrico.** Es un eje central excéntrico que apoya sobre dos palieres solidarios al bastidor. Gira sobre cojinetes de rodillos y transforma el movimiento de rotación en un movimiento de desplazamiento lineal que transmite a la biela (14).
- i) **Volantes.** Hay dos normalmente para equilibrar el sistema mecánico. Uno de ellos acanalado donde se acoplan las correas trapezoidales para transmitir el movimiento y la potencia del motor, y otro liso que actúa como volante de inercia únicamente. Unidos solidariamente al eje excéntrico, tienen dos misiones principales:
1. *Hacer de transmisor del movimiento.*
  2. *Hacer de reserva de energía, la acumula en el periodo de retroceso de la mandíbula móvil y la devuelve en el periodo de empuje.*

### 7.1.2.3. Trituradora de mandíbulas de simple efecto

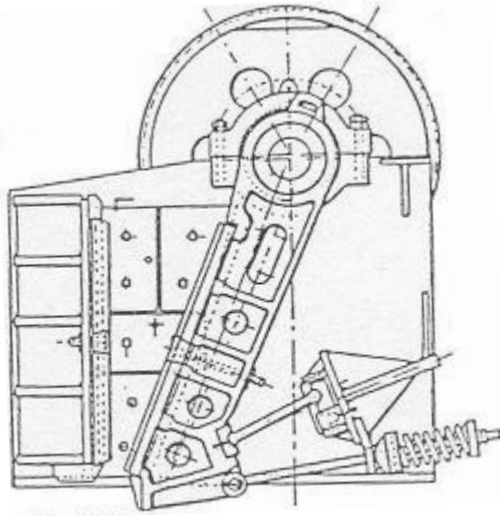
Una simplificación del diseño de la máquina tipo Blake es la denominada de simple efecto en la que un solo eje hace a la vez de articulación para el giro de la mandíbula móvil y de excéntrica para transformar el movimiento lineal en movimiento cuasi lineal. En este caso el movimiento describe una elipse en la zona de la boca de salida.

En este diseño, la mandíbula móvil hace las funciones de biela y se suprime una de las placas de articulación. El resto de mecanismos descritos anteriormente son válidos y similares en su función, pero se simplifica notablemente el diseño y la construcción del equipos reduciendo el peso de acero y se abarata el notablemente la trituradora.

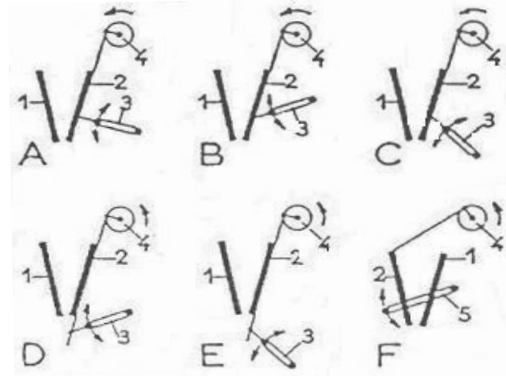
El movimiento e la mandíbula móvil tiene una componente para acercarse o alejarse de la mandíbula fija y una componente en la dirección de la biela lo que produce realmente un movimiento de elipse. Este movimiento origina un frotamiento de la roca con las mandíbulas que es superior al caso anterior, mayor desgaste por abrasión, pero con diseños de mandíbulas adecuado, perfil de la mandíbula curvos, se pueden utilizar prácticamente con cualquier material y así son adecuadas para triturar granito, cuarcita, etc.



La elección de un equipo u otro es una pura cuestión económica siendo preferible el modelo Blake en materiales muy abrasivos como puede ser el corindón<sup>2</sup> o el carborundo<sup>3</sup>. En la figura se indican diferentes sistemas de accionamiento de la mandíbula móvil, representando uno de ellos en construcción real.



**Figura 7.2.** Machacadora de biela simple. Movimiento tipo D.



**Figura 7.3.** Principales dispositivos de articulación en las machacadoras de biela simple.

- 1: Mandíbula fija.
- 2: Mandíbula móvil.
- 3: Placa de articulación.
- 4: Eje excéntrico.
- 5: Pequeña biela.

Modelo	Tamaño alimentación (mm)	Máx. Tamaño alimentación (mm)	Capacidad (t/h)	Potencia (Kw)	Dimensiones de Caja (mm)	Peso(T)
PE150×250	150×250	125	1-3	5,5	896×745×935	0,8
PE250×400	250×400	200	5-20	15	1.150×1.275×1.240	2,8
PE400×600	400×600	350	15-60	30	1.700×1.732×1.653	6,5
PE500×750	500×750	425	50-100	55	2.035×1.921×2.000	10,3
PE600×900	600×900	480	60-130	75	2.290×2.206×2.370	16,5
PE750×1.060	750×1.060	630	80-180	110	2.620×2.302×3.110	29
PE900×1.200	900×1.200	750	140-260	110	3.789×2.826×3.025	54,5
PE1.000×1.200	1.000×1.200	850	315-550	110	3.335×3.182×3.025	57
PE1.200×1.500	1.200×1.500	1000	400-800	160	4.200×3.750×3.820	100,9

**Tabla 7.1.** Especificaciones de la Trituradora de Mandíbulas (catálogo Internet).



<sup>2</sup> Alúmina cristalizada de dureza algo inferior al diamante. Se utiliza, además de cómo piedra preciosa, para pulir metales y diamantes en sus variedades comerciales.

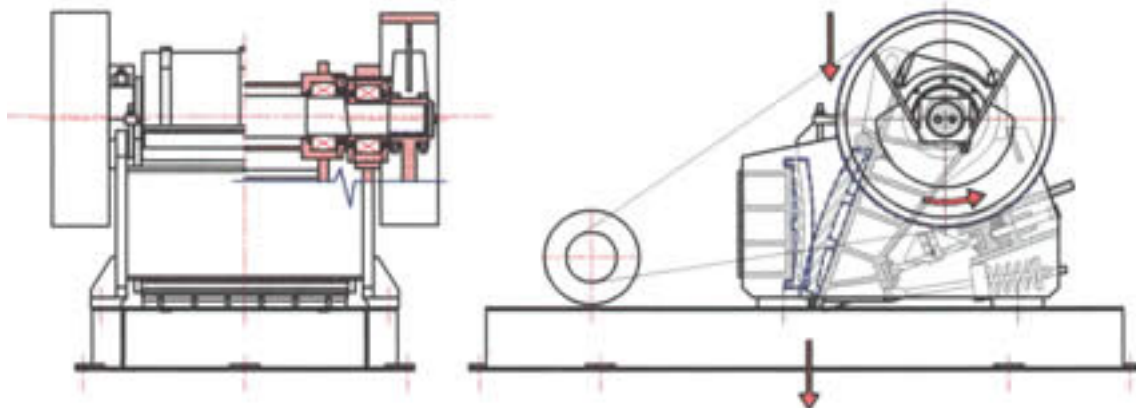
<sup>3</sup> Carburo de silicio, material muy abrasivo, se utiliza para la fabricación de lijas y piedras de pulir entre otros usos. Sustituye al esmeril (fabricado con roca de corindón).

Apertura (mm)	Trituradoras de mandíbulas - Simple efecto										
	Producción en m <sup>3</sup> /hora										
	30XF	40XF	50G - 64	60G - 77	60G - 96	120G - 100	75G - 120	90G - 130	90G - 160	120G - 160	150G - 230
15	1 - 2	1,5 - 3									
20	2 - 3	2,5 - 4	5 - 6	6 - 8							
30	3 - 4	4 - 5	8 - 11	10 - 13	10 - 13	20 - 25					
50		6 - 9	12 - 15	15 - 20	15 - 20	30 - 40					
70			16 - 22	20 - 26	20 - 26	40 - 50	25 - 30				
100			25 - 30	30 - 36	30 - 36		35 - 50	50 - 80	50 - 80		
150							50 - 70	70 - 105	70 - 105	85 - 150	
200								90 - 140	90 - 140	120 - 185	150 - 230
300										150 - 220	190 - 280

A causa de la gran variedad de rocas y minerales las capacidades deben entenderse como aproximadas.

Dimensiones (mm)											
Apertura	15 35	15 45	20 50 100	25 70 120	35 75 120	35 50 75	50 100 150	75 125 175	100 150 300	150 200 300	200 300 400
Anchura de boca	200	240	240 270 320	290 335 585	280 420 465	380 395 420	465 515 565	525 575 625	650 700 750	775 825 925	1.100 1.200 1.300
Longitud de la boca	300	700	500	600	600	1.200	750	900	900	1.200	1.500
Altura mandíbula fija	500	615	640	770	960	1.000	1.200	1.300	1.600	1.600	2.300
Potencia CV	25	35	40 - 50	50 - 60	55 - 65	70 - 90	60 - 80	70 - 90	75 - 100	80 - 120	140 - 160
Potencia kW	18	27	29								
Velocidad r.p.m.	300	300	300	300	300	250	250	200	200	200	160
Peso (t)	1,8	2,8	6,4	8	9	18	17	21	24	45	85

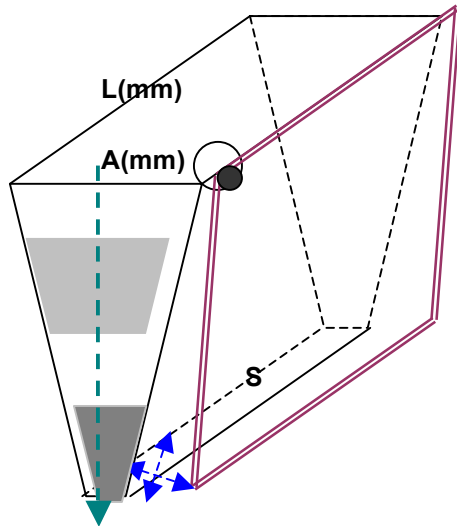
(\*) Las dimensiones de la boca de carga se refieren a un ángulo de 19°, excepto para las trituradoras 120G, 160 y 150G - 230, en las que el ángulo es de 21°30'.



#### 7.1.2.4. Parámetros característicos de las trituradoras de mandíbulas

#### 7.1.3. Cámara de trituración

La cámara de trituración es el volumen comprendido entre las dos mandíbulas y los límites laterales formando una figura cónica con las bases en forma de rectángulo. El diseño de las mandíbulas, rectas o curvadas, condiciona el volumen y la forma de trabajo del equipo.

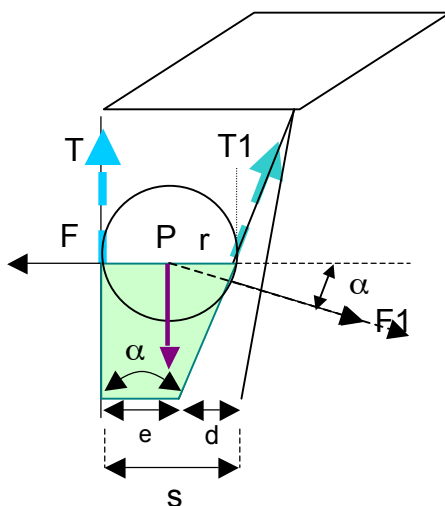


La cámara se divide en unidades de volumen, de forma prismática, de tal forma que el volumen de la primera unidad en la boca de entrada es igual al volumen del último prisma en la boca de salida. El último prisma está delimitado por la apertura de la mandíbula de tal forma que la proyección vertical de la base superior coincide con el límite inferior de la apertura.

Estos volúmenes son los correspondientes al descenso del material en su ciclo de oscilación y es necesario evitar que la roca al fragmentarse y llenar los huecos existentes en la alimentación forme un bloque único indeformable y se bloquee el equipo. En este supuesto de bloque único formado, la máquina, normalmente, romperá el fusible.

Existe una relación directa entre la sección de la boca de entrada, el ángulo que forman las mandíbulas, el desplazamiento y la velocidad de giro para evitar el bloqueo del equipo. En el diseño se actúa sobre parámetros de la máquina tales como, ángulo  $\alpha$ , curvatura de las mandíbulas, limitación de la admisión, velocidad de rotación del volante, diseño de los puntos de anclaje de las placas de arriostamiento, etc., para conseguir un funcionamiento lo más continuo posible en cuanto a la descarga y evitar los bloqueos.

#### 7.1.4. Ángulo de recepción, de toma o ángulo de NIP<sup>4</sup>



El estudio de las acciones de las mandíbulas sobre el bloque a triturar y las reacciones de éste sobre el equipo determinan la fragmentación del mismo y la circulación de la carga, por el efecto del peso, en la dirección de caída. El ángulo de contacto, que corresponde al ángulo que forman las mandíbulas, tiene gran importancia en el diseño y está relacionada con el rechazo (despedido hacia la boca de carga) o no de un bloque.

El efecto de la presión de las mandíbulas sobre el bloque a triturar (se considera esférico para el estudio teórico y de radio  $r$ ) crea unas reacciones del bloque sobre la mandíbula. Estas reacciones se descomponen en dos, una componente perpendicular a la mandíbula  $F$  y otra en la dirección de la mandíbula  $T$ .

El rozamiento del bloque sobre la mandíbula es proporcional a la fuerza perpendicular que actúa sobre ella y se determina por la expresión  $R = \mu F$  y está relacionado con la tangente del ángulo característico o ángulo propio<sup>5</sup> de los materiales ( $\mu = \tan \varphi$ ).

<sup>4</sup> nip: pinzar, morder en Inglés.

<sup>5</sup> Valor correspondiente al ángulo del plano inclinado para el que se alcanza el valor máximo de pendiente antes de iniciar el deslizamiento.



El coeficiente de rozamiento entre roca o piedra y acero varía entre 0,2 y 0,3, máximo 0,4, variando con la humedad de los materiales, y el ángulo  $\varphi$  está comprendido entre  $11^\circ$  y  $17^\circ$ . La fuerza de rozamiento que impide al bloque ser despedido por las componentes T y T1, paralelas a las mandíbulas, deben cumplir la condición de ser mayor o igual que el rozamiento, siendo la condición de igualdad el caso límite:

a)  $R = \mu F \geq T$ .

b)  $R1 = \mu F1 \geq T1$ .

Para el sistema de fuerzas que actúan en el equipo, ver figura anterior, se plantea el sistema de equilibrio dado por:

$$\Sigma F_v = 0 ; \quad \Sigma F_h = 0 ; \quad \Sigma M = 0 ; \quad \Sigma M_o = 0.$$

De la ecuación de momentos se deduce la igualdad:  $T \cdot r = T1 \cdot r \Rightarrow T = T1$ .

En el caso límite, condición de igualdad, como  $T = T1$ , se deduce:

$$R = \mu F = T \quad \text{y} \quad R1 = \mu F1 = T1 \Rightarrow F = F1;$$

y del planteamiento del equilibrio de las fuerzas horizontales,  $\Sigma F_h = 0$ , se obtiene:

$$F - T1 \cdot \text{sen} \alpha - F1 \cdot \text{cos} \alpha = 0 \Rightarrow F - \mu F1 \cdot \text{sen} \alpha - F1 \cdot \text{cos} \alpha = 0 \Rightarrow F - \mu F \cdot \text{sen} \alpha - F \cdot \text{cos} \alpha = 0$$

de donde se deduce la condición:  $\mu = (1 - \text{cos} \alpha) / \text{sen} \alpha$

y aplicando las igualdades trigonométricas adecuadas<sup>6</sup> se obtiene:

$$\mu = (1 - \text{cos} \alpha) / \text{sen} \alpha = 2 \cdot \text{sen}^2(\alpha / 2) / (2 \cdot \text{sen}(\alpha / 2) \cdot \text{cos}(\alpha / 2)) = \text{sen}(\alpha / 2) / \text{cos}(\alpha / 2) = \text{tg}(\alpha / 2) = \mu$$

Sustituyendo el coeficiente de rozamiento por su equivalente de la tangente del ángulo propio se obtiene que el ángulo de las mandíbulas, en su posición más cerrada, debe ser inferior a dos veces el ángulo propio que define el rozamiento entre el mineral y la mandíbula:

$$\mu = \text{tg}(\alpha / 2) \Rightarrow \text{tg}(\alpha / 2) = \text{tg}(\varphi) \Rightarrow \alpha = 2 \cdot \varphi$$

El ángulo de las mandíbulas, en su posición más cerrada, debe ser inferior a *dos veces* el ángulo propio que define el rozamiento entre el material y la mandíbula. Esta propiedad es una característica de los equipos en los que el atrapamiento de la partícula depende del rozamiento como es el caso de las trituradoras de cilindros.

Con los valores indicados anteriormente,  $\alpha$  tiene una variación entre  $22^\circ$  a  $34^\circ$  pero en la práctica se utiliza un valor de  $26^\circ$  como valor absoluto máximo que no se debe superar como ángulo mayor entre las dos mandíbulas. Los fabricantes recomiendan que se tomen valores inferiores a  $24^\circ$  y de forma preferente usar el rango de  $20^\circ$  a  $22^\circ$ .

Si despreciamos el peso P de la partícula que es muy pequeño frente a las fuerzas que interviene en la fragmentación y planteamos el equilibrio de las fuerzas verticales,  $\Sigma F_v = 0$ , se obtiene la misma expresión anterior de  $\alpha = 2 \cdot \varphi$ .

### 7.1.5. Capacidad de producción

La capacidad de producción es la cantidad de producto que es capaz de evacuar en la unidad de tiempo. Ligado a los parámetros físicos de diseño del equipo y a su forma de trabajar, r.p.m. del volante está descrito en diversidad de tablas y gráficos para los diferentes fabricantes pero todos tienen un fundamento básico común.

Este se corresponde con el estudio teórico del funcionamiento del equipo que se basa en la capacidad de la máquina de evacuar el último prisma teórico formado, por comparación con la velocidad de rotación del volante y su equivalente el movimiento de oscilación o vaivén de las mandíbulas.

<sup>6</sup> Aplicando las igualdades,  $\text{sen}^2 \beta = (1 - \text{cos} 2\beta) / 2$  y  $\text{cos}^2 \beta = (1 + \text{cos} 2\beta) / 2$ .

Se definen, conforme al esquema, las variables siguientes:

d: Desplazamiento, en movimiento de vaivén, de la mandíbula móvil, (cm).

e: Abertura de las mandíbulas en la posición cerrada (cm).

s: Reglaje o regulación del equipo (cm); coincide con la base mayor del prisma límite o prisma evacuado en una revolución.

P: Peso del último prisma (kg),  $P = V \cdot \gamma \cdot \mu$ , siendo:

V: Volumen del prisma,  $V = A \cdot L$  ( $\text{cm}^3$ ).

A: Área lateral del prisma ( $\text{cm}^2$ ).

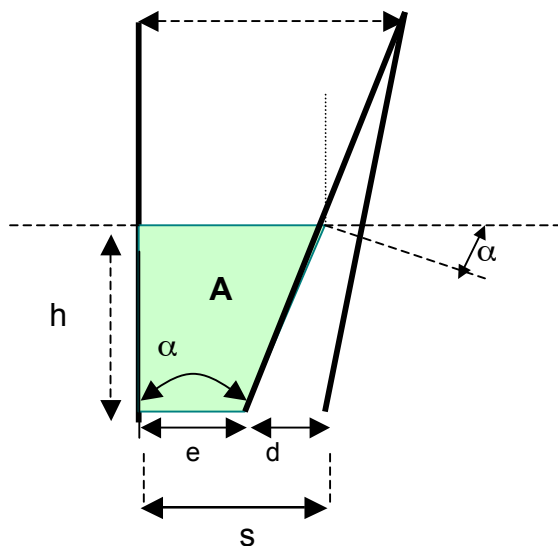
L: Longitud de la boca de la trituradora (mm).

$\gamma$ : Densidad real del mineral a triturar ( $\text{kg/l}$  ó  $\text{t/m}^3$ ).

$\mu$ : Coeficiente de esponjamiento o de aflojamiento. El material debe tener una proporción de huecos entre las partículas que permita trabajar al equipo sin formar un bloque macizo e incompresible.

$\rho_a$ : Densidad aparente:  $\rho_a = \gamma \cdot \mu$ .

n: Revoluciones por minuto.



Se tienen las relaciones básicas siguientes:

$$A = L \cdot h \cdot (s + e) / 2 ; h = d / \text{tg}(\alpha) ; \Rightarrow$$

$$A = L \cdot \{(s + e) / 2\} \cdot \{d / \text{tg}(\alpha)\}$$

El peso del material evacuado por giro de la excentrica será:

$$P = V \cdot \rho_a ; P = L \cdot \{(s + e) / 2\} \cdot \{d / \text{tg}(\alpha)\} \cdot \rho_a$$

$$P = L \cdot \{(s + e) / 2\} \cdot \{d / \text{tg}(\alpha)\} \cdot \gamma \cdot \mu$$

Se admiten las simplificaciones siguientes:

- s y e son del mismo orden de magnitud y se considera en primera aproximación que  $s = e$ .
- El ángulo  $\alpha$  varía entre  $20^\circ$  y  $22^\circ$ , correspondiente a un coeficiente de rozamiento  $\mu = \text{tag}(\alpha) < 0,40$  y se considera la opción más desfavorable de  $22^\circ$ ;  $\text{tg}(\alpha) = \text{tg}(22^\circ) = 0,404$ .
- Se considera el caudal horario, luego en una hora se dan  $(60 \cdot n)$  descargas.

- Aplicando las simplificaciones anteriores se obtiene:

$$Q(t/h) = P \cdot (\text{rpm}) = L \cdot \{(s + s) / 2\} \cdot \{d / \text{tg}(22^\circ)\} \cdot \gamma \cdot \mu \cdot (60 \cdot n) = 150 \cdot L \cdot s \cdot d \cdot \gamma \cdot \mu \cdot n ; (t/h).$$

cuando las variables L, s, y d están en m,  $\gamma$  en ( $\text{t} / \text{m}^3$ ) y  $\mu$  es un coeficiente ( $0 < \mu < 1$ ). Si expresamos las longitudes en cm, práctica normal en las trituradoras, la expresión queda de la forma:

$$Q(t/h) = 0,00015 \cdot L \cdot s \cdot d \cdot \gamma \cdot \mu \cdot n$$

- A la expresión teórica anterior se le aplican diversos coeficientes según autores para adaptarla a las condiciones reales de funcionamiento, al producto tratado y a la forma de manipulación, dando valores muy precisos. Entre estas expresiones está la fórmula de D.H. Giesecking que se indica a continuación.
- Existen fórmulas simplificadas para el cálculo rápido, estimación, de la capacidad de una quebrantadora del tipo:  $Q(t/h) = 0,093 \cdot A \cdot L$ ; cuando A y L se dan en cm.
- También es posible utilizar la aproximación dada por Ruhmer que ajusta una ecuación de segundo grado (parábola).

### Cálculo de la capacidad de una trituradora, fórmula de D.H.Giesecking

Fórmula de Giesecking	$C ( t / h ) = f . a . u . [ s . d . L . n . Pa ]$		
f =	coeficiente de utilización, ver tabla de valores		
a =	coeficiente ligado al ángulo de toma	$a = 1 + 0,03 . ( 26 - \text{alfa} ) ;$	alfa = ángulo de toma en grados
u =	factor ligado al coeficiente de alimentación, ver curva.		
s =	reglaje en cm		( posición cerrada )
d =	recorrido en cm		
L =	longitud de la boca en cm		
n =	velocidad en r.p.m.	$n = 664 \times \sqrt{\text{tg} ( \text{alfa} ) / d}$	( alfa = 20°; n = 400 x $\sqrt{1 / d}$ )
pa =	p . μ	densidad aparente, siendo :	p = densidad real en: t/m <sup>3</sup> , kg/dm <sup>3</sup> , kg/l, g/cm <sup>3</sup>
	μ =	coeficiente de aflojamiento, ( se puede tomar un valor aproximado de 0,6 )	

f.- Coeficiente de utilización

Naturaleza de la alimentación	Mandíbulas lisas	Mandíbulas acanaladas
	Con finos normales ( tamaño menor que el reglaje de la máquina )	0,00014
Con los finos eliminados ( mediante un precribador )	0,00013	8,8E-05
Cuidadosamente cribados ( con criba )	0,00011	7,2E-05

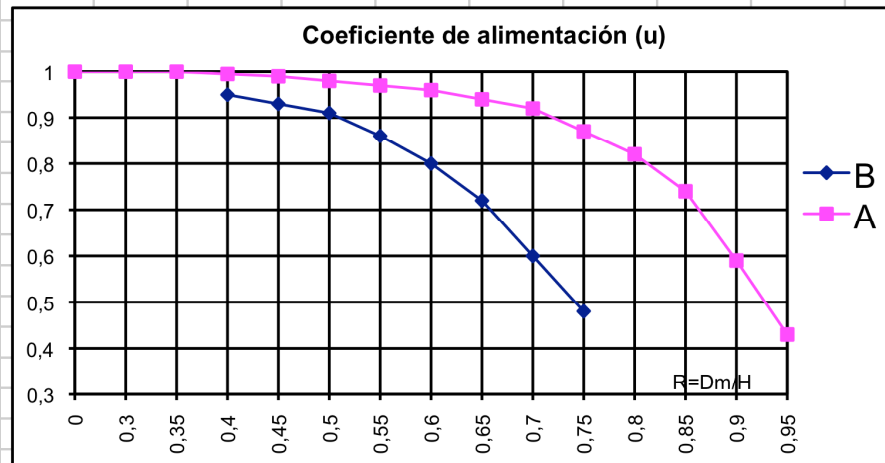
Nota: Desviación respecto al coeficiente teórico de 0,00015 ( no utilizar en los cálculos )

u.- Coeficiente de alimentación

$$R = D_{max} / H ;$$

H = profundidad de la cámara de quebrantado (abertura superior)

R	B	A
0		1
0,30		1,00
0,35		1,00
0,40	0,95	1,00
0,45	0,93	0,99
0,50	0,91	0,98
0,55	0,86	0,97
0,60	0,80	0,96
0,65	0,72	0,94
0,70	0,60	0,92
0,75	0,48	0,87
0,80		0,82
0,85		0,74
0,90		0,59
0,95		0,43



A: Alimentación regulada mediante tolva de distribución

B: Descarga directa desde camión o vagoneta a la cámara de quebrantado

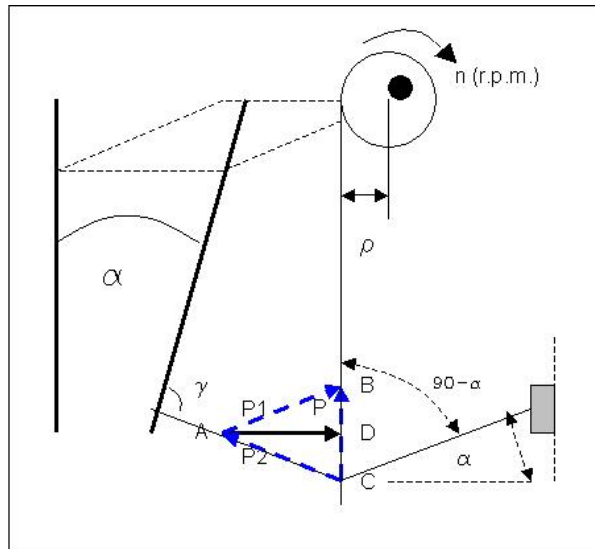
### Densidad media y aparente de algunos materiales mineros a granel

Mineral / Roca	Densidad t/m <sup>3</sup>	Aparente kg/m <sup>3</sup>	Mineral / Roca	Densidad t/m <sup>3</sup>	Aparente kg/m <sup>3</sup>
Barita	4,5	2.725	Yeso	2,32	1.360
Basalto	2,7 - 3,2	1.600	Magnetita / Hematites	5,18 / 5,26	2.000 - 2.400
Carbones	L: 1,1 - H - A: 1,8	640 - 960	Silex	2 - 2,65 - 3	1.600
Clinker	3,1 - 3,2	1.520	Magnesita	3 - 3,48	1.600
Coke	1,2	370 - 515	Pórfido	2,4 - 2,8	1.600
Caliza	2,46 - 2,84	1.550	Cuarzo	2,5 - 2,8	1.520
Granito	2,15 - 3,05	1.400 - 1.600	Talco	1 - 1,5	1.520

## 7.2. Trituración primaria I (continuación)

### 7.2.1. Tracción sobre la biela

Cuando gira la excéntrica, la mandíbula móvil se acerca a la mandíbula fija en la subida de la biela, se ejerce una fuerza de tracción  $P$  sobre la biela, segmento  $CB$ , que se descompone según las direcciones de las placas de arriostamiento en  $P_1$  y  $P_2$ .



Considerando que la altura de anclaje de las placas de arriostamiento está a la misma altura, las componentes  $P_1$  y  $P_2$  en la dirección de las varillas, forma un triángulo isósceles,  $BACB$ , y se tiene:

- $\gamma$ , se considera para el cálculo que es de aproximadamente  $90^\circ$ .
- $AC$ , perpendicular a la mandíbula móvil.
- $AD$ ; perpendicular a la mandíbula fija.
- $\alpha$ : Ángulo  $DAC =$  ángulo  $BAD$ .
- $2 \cdot \alpha$ : Ángulo  $BAC$ .
- $|\text{vector } P_1| = |\text{vector } P_2|$ .

Del triángulo de fuerzas que se forma durante la rotación de la excéntrica, se obtiene la igualdad dada por la ecuación siguiente:

$$\text{vector}_{CB} = \text{vector}_{CA} + \text{vector}_{AB} \rightarrow P_1 \cdot \text{sen}(\alpha) + P_2 \cdot \text{sen}(\alpha) = 2 \cdot P_1 \cdot \text{sen} \alpha = P;$$

$$P_1 = P / 2 \cdot \text{sen}(\alpha) \rightarrow P_1 = P / 0,7 \quad (\alpha = 20,5^\circ)$$

Que es la fuerza sobre cada arriostamiento cuando se aplica una fuerza  $P$  sobre la biela y se utiliza para calcular el fusible, la biela dispuesta para romper ante un atasco o un intriturable, y proteger así las partes vitales de la máquina.

### 7.2.2. Transmisión de la potencia aplicada al eje excéntrico

Cuando se aplica una potencia  $W$  al eje de la excéntrica, se produce un trabajo que es igual al producto de la fuerza por el camino recorrido, y así el trabajo en un giro completo, con una excentricidad  $\rho$  será:

$$T(\text{trabajo}) = F(\text{fuerza}) \cdot e(\text{espacio})$$

$$T(\text{N} \cdot \text{m}) = P(\text{Newton}) \cdot 2\pi\rho(\text{m}) \quad ; \quad \text{y la potencia como } W(\text{vatio}) = T / t \text{ será:}$$

$W = P \cdot 2\pi\rho / t$ ; el valor de  $t$ , en segundos, en una revolución cuando se gira a  $n$ (r.p.m.) es de  $t(\text{s}) = 60 / n$ , y sustituyendo en la expresión anterior se tiene:

$$W = P \cdot 2\pi\rho \cdot n / 60, \text{ y la fuerza de tracción sobre la biela será entonces:}$$

$$P = 60 \cdot W / 2\pi\rho \cdot n, \quad P = 9,55 \cdot W / \rho \cdot n$$

Siendo:

$P$ : Fuerza de tracción sobre la biela en N.

$W$ : Potencia sobre el eje de la trituradora en W.

$\rho$ : Excentricidad en m.

$n$ : r.p.m.

$P = 9,55 \cdot 10^6 \cdot W / \rho \cdot n$ ; para la potencia<sup>7</sup> en Kw, la excentricidad en mm y la velocidad de rotación en r.p.m. que son las unidades habituales en estos equipos.

### Ejercicio 1

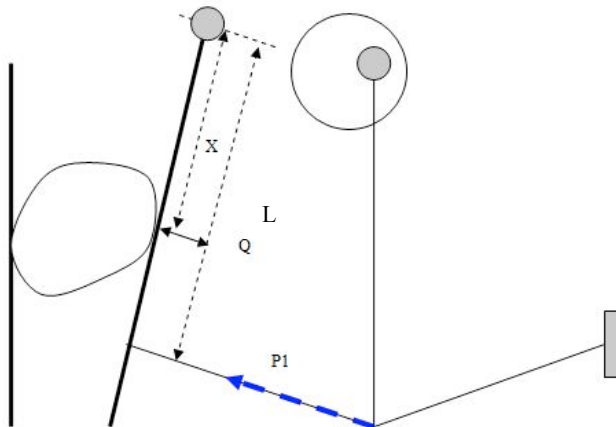
Calcular el orden de magnitud de las tensiones soportadas por la biela y las riostras para un equipo de 110 kW de potencia en el eje, una excéntrica de 50 mm y 200 r.p.m.

La tensión soportada por la biela es, aplicando la expresión anterior, de 105.050 N (10.708 kg), y la tensión soportada por las riostras, aplicando  $P1 = P / 2 \cdot \text{sen}(\alpha)$  para 20° es de 153.573 N (15.654 kg).

### 7.2.3. Presión que se ejerce sobre el bloque

Para identificar la presión ejercida sobre un bloque se analiza la distribución de fuerzas en los diferentes elementos del equipo que transmiten el esfuerzo del motor al bloque a triturar. La posición del bloque, dentro de la trituradora, puede ser cualquiera entre la boca de admisión y la boca de descarga.

Se analiza el desplazamiento de la mandíbula móvil y se aplica la ley del equilibrio de fuerzas. Se aplica la ley de los momentos al punto de giro de la mandíbula móvil y se obtiene:



P1: Fuerza aplicada a la riostra.

Q: Reacción del bloque.

L: Distancia entre el eje de giro y el punto de acoplamiento de la riostra.

X: Posición variable del bloque, distancia desde el eje de la mandíbula al punto de contacto del bloque.

Se tiene la igualdad, aplicando la ley de momentos, dada por la ecuación:

$$P1 \cdot L = Q \cdot x,$$

y aplicando el valor de la fuerza P1 obtenida anteriormente,  $P1 = P / 2 \cdot \text{sen}(\alpha)$ , y sustituyendo P por su valor,

$P = 9,55 \cdot 10^6 \cdot W / \rho \cdot n$ ; se tiene:

$$L \cdot P / 2 \cdot \text{sen}(\alpha) = Q \cdot x \rightarrow L \cdot 9,55 \cdot 10^6 \cdot W / \{\rho \cdot n \cdot 2 \cdot \text{sen}(\alpha)\} = Q \cdot x$$

La presión sobre el bloque, variable según la profundidad, viene dada por la expresión:

$$Q = L \cdot 9,55 \cdot 10^9 \cdot W / \{x \cdot \rho \cdot n \cdot 2 \cdot \text{sen}(\alpha)\}$$

Las variables se expresan en las unidades indicadas anteriormente; L y X ambas en la misma unidad, preferentemente en mm.

### Ejercicio 2

Calcular el orden de magnitud de las presiones transmitidas al bloque a fragmentar para un equipo de 110 kW de potencia en el eje, una excéntrica de 50 mm, y 200 r.p.m., con una longitud de mandíbula de 1.600 mm. Suponer el punto de apoyo de la riostra a 200 mm de la boca de descarga.

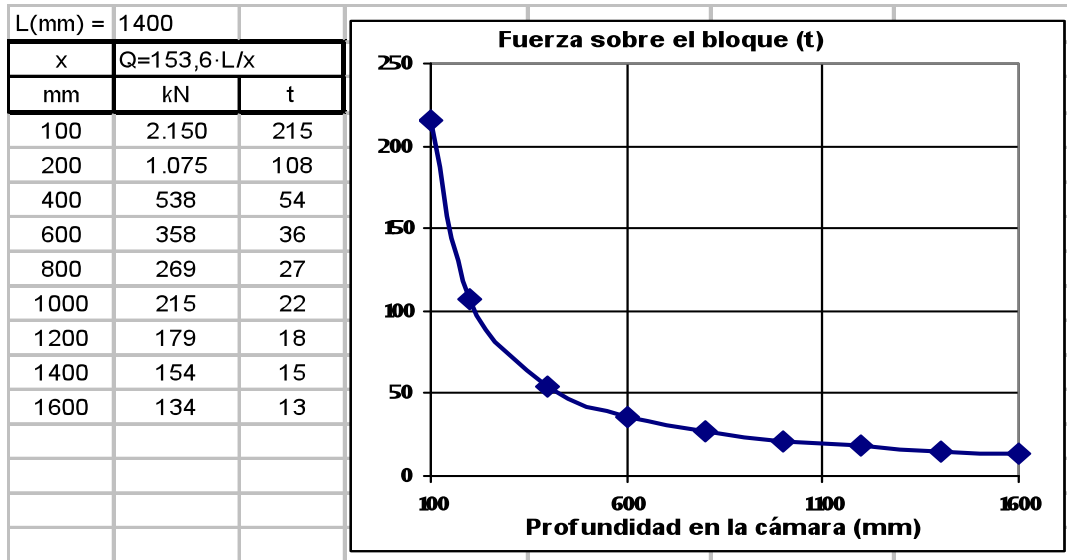
<sup>7</sup>  $P(\text{kg}) = 716,2 \cdot W / \rho n$ , para W en CV, p en metros y n en r.p.m.

La tensión soportada por la biela es, aplicando la expresión anterior, de 105.050 N (10.708 kg), y la tensión soportada por las riostras, aplicando  $P1 = P / 2 \cdot \text{sen}(\alpha)$  para  $20^\circ$  es de 153.573 N (15.654 kg).

La fórmula particular de la fuerza transmitida es, aplicando los valores anteriores:

$$Q(\text{kN}) = 153,6 \cdot (L / x); \quad 0 < x < 1.600.$$

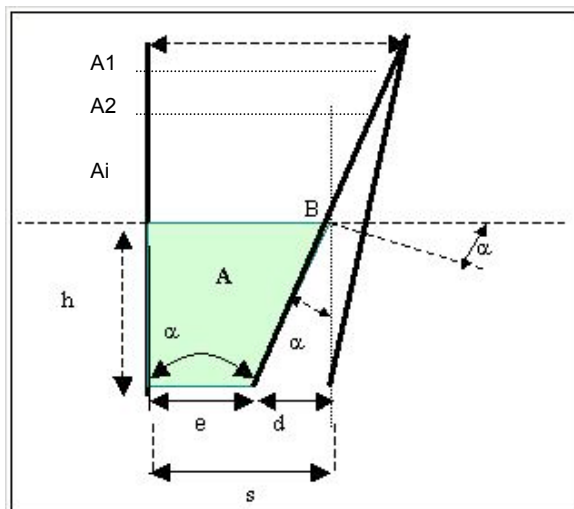
Se observa en el gráfico el esfuerzo que se transmite por el efecto de palanca, que justifica la necesidad del elemento fusible y la capacidad de trituración tan elevada de estos equipos.



### 7.2.4. Velocidad de rotación, desplazamiento de la mandíbula

La carga dentro de la trituradora se desplaza, en la dirección vertical, por el efecto de la gravedad. Existe un desplazamiento forzado por el movimiento de las mandíbulas, más acusado en las de simple efecto con accionamiento giratorio en la propia mandíbula móvil, que describen en su movimiento una elipse con componente horizontal y componente vertical.

La cámara se divide en volúmenes prismáticos A1, A2, ... An de tal forma que los volúmenes asociados en su descenso a lo largo de la cámara son iguales, y en una rotación, la carga que ocupa un área de forma prismática An, último prisma teórico formado, debe ser evacuada por el efecto de caída libre y ser ocupado este volumen por el prisma inmediato superior, An-1.



El último prisma se considera el correspondiente al área lateral formado por la base inferior en posición cerrada de la mandíbula, y la base superior correspondiente a la proyección de la base en coincidencia con la mandíbula en posición abierta, según el esquema que se adjunta (punto B proyectado), y cuya amplitud, abertura máxima, es igual a:

$$s = e + d$$

Cuando la excéntrica gira a "n" (r.p.m.), el tiempo para un desplazamiento de dimensión "d" es el correspondiente a 1/2 vuelta, se corresponde a:

$$t(\text{s}) = 30 / n$$

El material se desplaza mediante un movimiento uniformemente acelerado de aceleración  $a = g$ , luego  $h = \frac{1}{2} \cdot g t^2$ , y en este tiempo el material se debe desplazar la distancia:  $h = d / \operatorname{tag}(\alpha)$ . En el caso límite se tiene la igualdad:

$$h = \frac{1}{2} \cdot g t^2 = d / \operatorname{tag}(\alpha) \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot g (30 / n)^2 = d / \operatorname{tag}(\alpha); \text{ de donde se obtiene:}$$

$$n^2 = 30^2 \cdot g \cdot \operatorname{tg}(\alpha) / 2d$$

Considerando:  $g: 9,81 \text{ m/s}^2$ , y  $d$  en cm, se tiene la expresión:

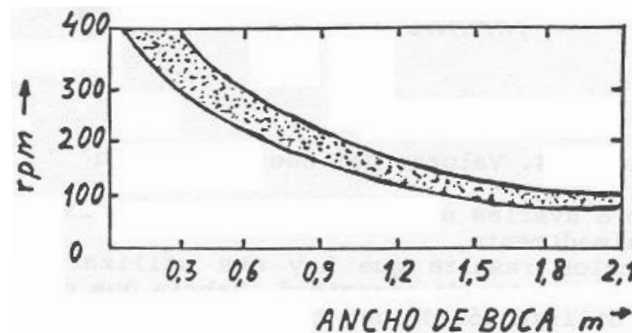
$$n = 664,4 \cdot \sqrt{\operatorname{tg}(\alpha) / d}$$

Expresión que relaciona la velocidad de rotación de la excéntrica (r.p.m.) con el desplazamiento de las mandíbulas (cm) y el ángulo ( $^\circ$ ) entre mandíbulas en la posición más cercana. Particularizada para ángulos normales de las trituradoras de mandíbulas se obtiene las expresiones de utilidad práctica:

$$\alpha = 20^\circ \Rightarrow n = 400,8 / \sqrt{d}$$

$$\alpha = 22^\circ \Rightarrow n = 422,3 / \sqrt{d}$$

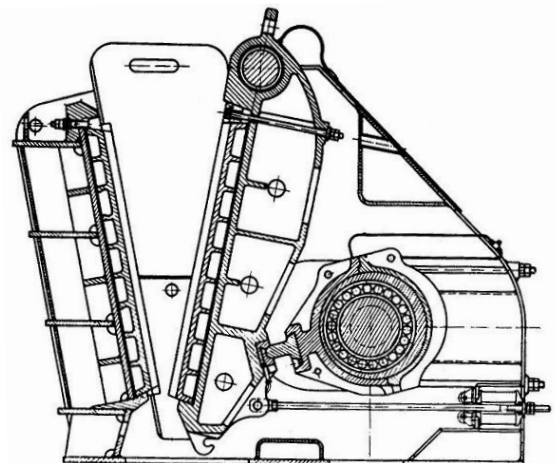
Se deduce de lo anterior que en un equipo, al aumentar el recorrido de la mandíbula móvil, se debe disminuir las revoluciones y por el contrario al hacer menor el recorrido es posible, no necesario como en el caso anterior<sup>8</sup>, aumentar la velocidad de giro.



En el gráfico se da una aproximación que sirve como primera información y que relaciona el ancho de la boca de admisión con la velocidad de giro de la excéntrica.

#### 7.2.4.1. Otros diseños

Existen diseños específicos que modifican aspectos funcionales de la fragmentación y así el diseño de Krupp, ver esquema siguiente, con dos ejes y de ataque directo a la mandíbula móvil, tiene un desplazamiento menor que en el caso Blake. Corresponde al valor de la excéntrica modificado por el ángulo de ataque a la mandíbula. Tiene el inconveniente, frente a la tipo Blake, que transmite todo el esfuerzo a la excéntrica, desaparece el efecto multiplicador del conjunto biela riostras.



**Figura 7.4.** Machacadora de accionamiento directo (Cliché Krupp).

<sup>8</sup> El funcionamiento a valores inferiores a la velocidad límite indicada permite un margen de seguridad pero disminuye la capacidad de producción del equipo.

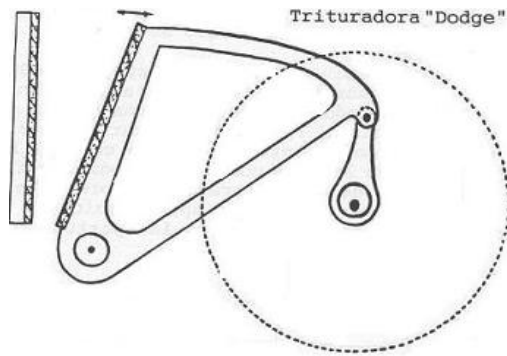


Figura 7.5. Trituradora de "Dodge".

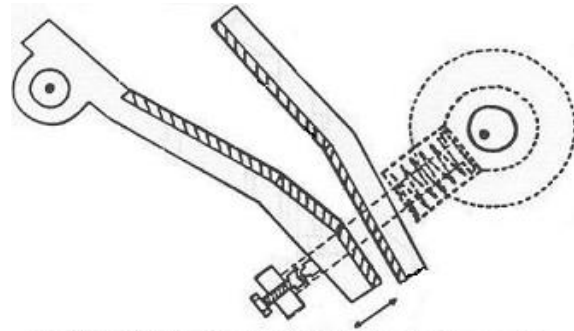


Figura 7.6. Trituradora de mandíbulas de impacto.

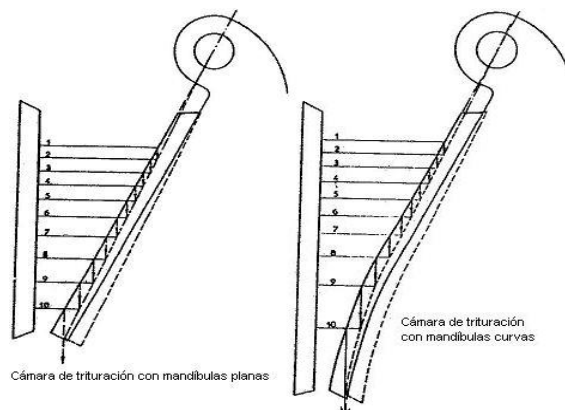
### 7.2.5. Elección de la máquina adecuada

La elección del equipo es fundamentalmente por la capacidad de la boca de admisión. El criterio fundamental es la relación entre el tamaño máximo a procesar y las dimensiones de la boca del aparato. El tamaño máximo debe ser como mucho un 80% de la dimensión menor de la boca de carga.

$$D_{max} < 0,8 \cdot A \quad (D_{max} < 0,8 \cdot H \text{ en denominación inglesa}).$$

El tamaño máximo no interesa que sea mucho menor ya que se desaprovecha capacidad de producción y no es deseable un tamaño claramente inferior al recomendado ya que se pueden producir atascos del equipo por saturación de la cámara si esta es por descarga directa no controlada.

Si existen en la alimentación granos poco frecuentes pero de tamaño elevado, superior al recomendado o incluso que no entra al equipo, se debe recurrir a limitar su entrada mediante una parrilla para no dimensionar excesivamente la trituradora, y fragmentar estos granos por otros medios antes de alimentar el equipo (p.e.: martillo neumático instalado en cabeza de trituradora).



Por el contrario, los granos ya triturados o que cumplen las características de salida del equipo instalado, no deben pasar por el aparato para evitar la producción excesiva de finos y el consiguiente consumo de energía innecesario. En este caso se recomienda instalar una criba, entre la parrilla de protección y la trituradora, de luz de malla igual a la regulación. El producto de salida de la criba se une luego al producto triturado, siendo la criba de tipo robusto con preferencia sobre la calidad de corte.

En el producto de salida de una trituradora de mandíbulas, por el efecto de forma de la descarga, rectangular, pueden y de hecho salen trozos de dimensión superior al reglaje, normalmente alargados, con una o dos dimensiones mayores que la regulación. Este efecto es más pronunciado para aquellos materiales con tendencia a exfoliar como es el caso de las pizarras donde este efecto es muy acusado, o de las micas.

Respecto a la capacidad de tratamiento hay que tener en cuenta las necesidades de mantenimiento que son elevadas. Si se trabaja a dos turnos el tercero será para necesidades de mantenimiento. La disponibilidad de estos equipos en un año medio será del 80%–90% máximo. Cuando de los cálculos, por capacidad, se pueda desprender la necesidad de dos equipos es necesario compara el funcionamiento de estos con el de una trituradora giratoria que los sustituya.



### 7.2.6. Comparativo entre trituradoras de doble efecto y simple efecto

Concepto	Trituradora Blake	Trituradora de Simple efecto; AF
Otra denominación	Doble efecto o doble arriostramiento.	Alimentación forzada o de palanca sencilla, (AF).
Ejes de giro	Dos, uno excéntrico y uno fijo.	Uno, excéntrico que acciona directamente la mandíbula. Situado detrás y encima de la mandíbula móvil.
Sentido de giro	Indiferente.	Giro hacia el interior de la cámara de trituración. El giro contrario tiende a expulsar el material de la cámara.
Situación del eje excéntrico	Simétrico respecto a las riostras.	Detrás y encima de la mandíbula móvil.
Desplazamiento de la mandíbula móvil	Lineal.	Elíptico, componente horizontal y vertical sobre la alimentación.
Amplitud del movimiento	Mayor que las de simple efecto, aproximadamente el doble a igualdad de geometría.	Menor que las Blake.
Capacidad de reglaje	Normal.	Más fino que las Blake, reglaje más cerrado.
Escalón de trabajo	Trituración primaria.	Trituración primaria y secundaria por el efecto de reglaje más cerrado.
Progreso, avance, del mineral	Por gravedad.	Por gravedad más el efecto de arrastre de la mandíbula móvil.
Concepción del equipo	Normal, el eje excéntrico soporta solo una parte del esfuerzo por el efecto multiplicador del sistema biela riostras.	Más sencillo, el eje excéntrico soporta toda la fuerza del trabajo de forma directa.
Tonelaje	Normal.	Menor, máquinas más sencillas.
Capacidad	Normal.	La componente vertical de las AF favorece el paso de material en la cámara. Lo que representa un ligero aumento de la capacidad de producción.
Relación de reducción	4 - 8	Mayor, 4 - 12 o superior.
Placas riostras	Dos.	Una que hace el reglaje y todas las funciones de regulación.
Rozamientos y desgastes	Normal.	Mayor, por la componente vertical que produce deslizamientos relativos entre la mandíbula y el mineral.
Robustez	Normal.	La amplitud del movimiento en la zona de alimentación a la cámara, hace que se transmitan esfuerzos elevados al bastidor. Problema de roturas con materiales duros.
Uso preferente	Indicada para todo tipo de materiales, incluso abrasivos.	Menos indicada para materiales abrasivos y duros.
Materiales normales, poco abrasivos	Uso normal.	Uso preferente. Es más barata, regla más fina, y tiene más capacidad.
Para el cálculo	Se toma el desplazamiento.	Se toma el desplazamiento en proyección horizontal únicamente.

Concepto	Trituradora Blake	Trituradora de Simple efecto; AF
<b>Desgaste</b>	Normal, sólo compresión.	La componente vertical del movimiento produce deslizamiento roca-acero, que se traduce en un mayor desgaste por abrasión.
<b>Uso principal</b>	Trituración primaria.	Trituración primaria.
<b>Otros usos</b>		Trituración secundaria modificando: a) Velocidad de giro; $n \approx 400 / \sqrt{d}$ . b) Disminuir la excentricidad. c) Disminuir los surcos de las mandíbulas.
<b>Posibilidades</b>	En minas grandes, preferible para hacer dos escalones de trituración.	En minas o canteras pequeñas puede hacer la trituración completa, primaria y secundaria a la vez <sup>9</sup> .
<b>Material triturado, tamaño máximo</b>	(1,5 - 1,6) · reglaje.	(1,5) · reglaje.
<b>Producto mayor que el reglaje</b>	15% - 20% mayor que el reglaje.	
<b>Desplazamiento “d”</b>	Mayor que en las AF.	Desplazamiento “d” es menor que en las Blake, pueden reglar más fino.
<b>Coste</b>	Proporcional al peso.	Las AF, a igualdad de capacidad, son más ligeras y por tanto más baratas.
<b>Esfuerzos</b>	Distribuidos sobre dos ejes.	Los esfuerzos en la parte superior de la cámara son mayores, y se transmiten al eje y al bastidor, pudiendo, en casos extremos, producir averías.
<b>Conclusión</b>	La trituradora de doble efecto, tipo Blake, es apta para todo tipo de materiales.	Las trituradoras de simple efecto (AF), son más ligeras, más baratas y tienen algo más de capacidad, pero tienen restricciones en su aplicación, sobre todo cuando se trata de rocas abrasivas o muy duras.

### 7.2.7. Tablas y gráficos de trituradoras de mandíbulas

Existe diversidad de diagramas para la estimación de las condiciones de operación de una trituradora de mandíbulas, normalmente ligados a los fabricantes. Se dan a continuación algunos ejemplos de la bibliografía, de utilidad general, que sirve como primera estimación.

En la tabla siguiente<sup>10</sup> se dan, a modo de orientación, los porcentajes de paso por una malla cuadrada de dimensión igual al reglaje de los equipos, para diferentes tipos de trituradoras y diferentes materiales.

El eje de abscisas tiene los valores expresados en % del tamaño máximo para así tener un valor general. Hay que calcular con el valor del porcentaje que pasa por la malla cuadrada igual a la regulación, estimado a partir de la tabla que se adjunta o de valores conocidos, en ordenadas y leer en abscisas el porcentaje del tamaño máximo que le corresponde. Este porcentaje es igual a la regulación, de forma que el tamaño máximo se obtiene dividiendo la regulación entre dicho porcentaje y multiplicando por cien.

<sup>9</sup> Según el mineral, su dureza y abrasividad, puede hacer los tres escalones de la trituración.

<sup>10</sup> Apuntes de la ETSI Minas de Madrid. Profesor Ramón Álvarez (1993).

### Ejercicio de aplicación

Valor que pasa por la malla cuadrada igual a la regulación: a% de la alimentación.

Para un valor a% se lee el valor que le corresponde en abscisa: x% de d<sub>max</sub>.

Tamaño máximo:  $d_{max} = (s / x\%) \cdot 100$  (s: regulación o abertura máxima).

A partir del valor del tamaño máximo obtenido es inmediato calcular cualquier otro valor como el d<sub>80</sub>, el porcentaje menor de un tamaño dado, etc.

El cálculo o proceso anterior admite el proceso inverso y así, si se conoce el tamaño máximo que pasa por la trituradora o bien que se desea que pase por la trituradora, “b” será este d<sub>max</sub> el valor de referencia y así el d<sub>80</sub> o la regulación necesaria en la máquina se calcularán mediante el proceso siguiente:

El tamaño máximo, dato, es: b.

Se conoce que para este tipo de equipos y el material tratado, el porcentaje que pasa por una malla cuadrada igual a la regulación es, supongamos granito 70%, se tiene entonces de la curva que para el 70% se obtiene un % del d<sub>max</sub> en abscisas (47%).

$$d_{max} = b = (s / 47) \cdot 100; s(\text{reglaje}) = 0,47 \cdot b.$$

El d<sub>80</sub> se da para un porcentaje aproximado del 61% del d<sub>max</sub> (**curva A** del “análisis granulométrico de los productos triturados” en un equipo de mandíbulas, usado para la solución del ejercicio). Así se tiene:  $d_{80} = b \cdot 0,61$ .

Obtenido el valor hay que verificar si el equipo considerado es capaz, razonablemente, de trabajar con esta regulación.

### Aplicación, Ejercicio 1

Supuesto de una trituradora Blake triturando caliza con rejilla previa:

En Tabla 7.2 de página siguiente (paso por una malla cuadrada igual al reglaje) se obtiene:

$$a\% = 80 - 85\% \Rightarrow 82\%.$$

En el gráfico de la página 27, gráfica tabulada que nos da el %pasantes = f(%d<sub>max</sub>), se obtiene para un paso del 82% el valor de 65% d<sub>max</sub>.

Luego el tamaño máximo será:

$$s(\text{regulación}) / 0,65 = 5 / 0,65 = 7,7 \text{ cm}; \text{ para una regulación } s = 5 \text{ cm en la trituradora.}$$

### Aplicación, Ejercicio 2

Calcular el d<sub>80</sub>, para el supuesto anterior.

De la información del ejercicio anterior se tiene la relación:

$$\% \text{pasantes } 82\% \rightarrow \% d_{max} = 65\%.$$

En el gráfico tabulado se tiene, para el valor más próximo:

$$\% \text{pasante} = 79 \rightarrow \% d_{max} = 60\%.$$

Interpolando, se obtiene, para el valor  $d_{80} = 60 + (5 / 3) \cdot 1 = 61,6\%$ .

El valor del d<sub>80</sub> en cm será entonces:  $d_{max} \cdot 0,616 = 7,7 \times 0,616 = 4,74 \text{ cm}$ .

### Aplicación, Ejercicio 3

Para el equipo (trituradora Blake), regulación (5 cm) y triturando (caliza) de los ejercicios anteriores, calcular el porcentaje del producto menor de 4 cm.

$4/d_{max} = 4 / 7,7 = 0,52$ ;  $\Rightarrow$  El 52% del d<sub>max</sub> es el porcentaje que representa 4 respecto al d<sub>max</sub>, luego se tiene interpolando con los valores correspondientes de la tabla o gráfico:

$$\% \text{pasantes}(4 \text{ cm}) = 72 + \{(52 - 50) / (55 - 50)\} \cdot (75 - 72) = 73,2\% \text{ pasantes.}$$

Trituradora	Alimentación	Granito	Caliza	Cuarcita
Blake	Todo-uno de cantera	70 - 75	85 - 90	65 - 70
Blake	Con rejilla fija previa	65 - 70	80 - 85	60 - 65
Blake	Cribado con cuidado	60 - 70	75 - 80	55 - 60
Simple efecto	Cribado con cuidado	70 - 75	80 - 85	60 - 65
Giratoria primaria	Todo-uno de cantera	75 - 80	85 - 90	65 - 70
Giratoria primaria	Con rejilla fija previa	70 - 75	80 - 85	60 - 65
Giratoria secundaria	Cribado con cuidado	80 - 85	85 - 90	75 - 80
Giratoria secundaria alta velocidad	Cribado con cuidado	65 - 70	70 - 75	65 - 70

**Tabla 7.2.** Porcentaje de paso por una malla cuadrada igual al reglaje de los productos de machaqueo.



**Figura 7.7.** Curva granulométrica típica de los productos de las machacadoras de mandíbulas.

La forma de la curva anterior<sup>11</sup> y los valores, son coincidentes con los indicados posteriormente para diversos tipos de triturados, tomando la curva correspondiente a las trituradoras de mandíbulas. Aquí el eje de abscisas está en escala logarítmica y posteriormente se usa una escala lineal y se da su valor tabulado.

<sup>11</sup> Manual de áridos, Loemco y ETSI de minas de Madrid.

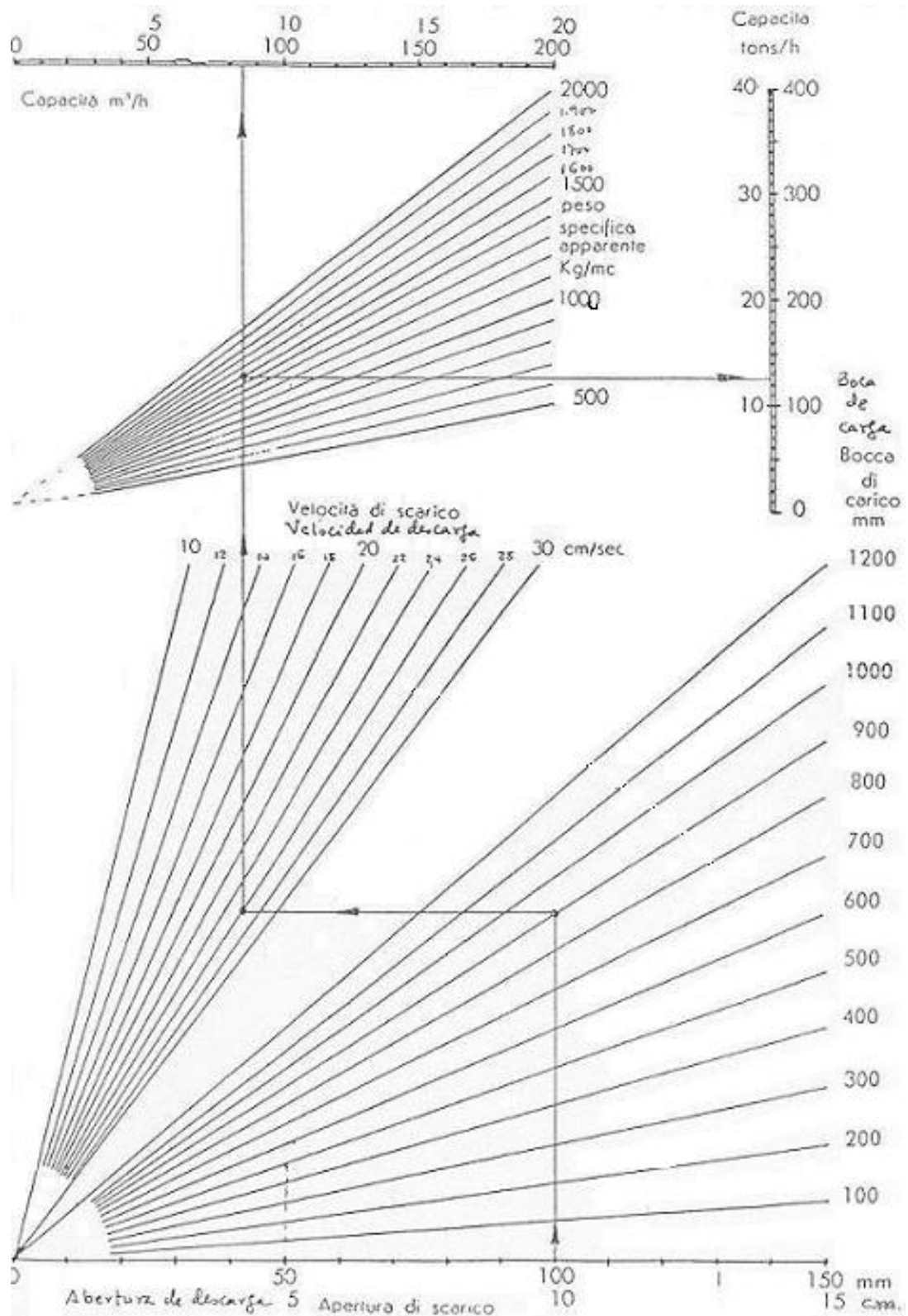
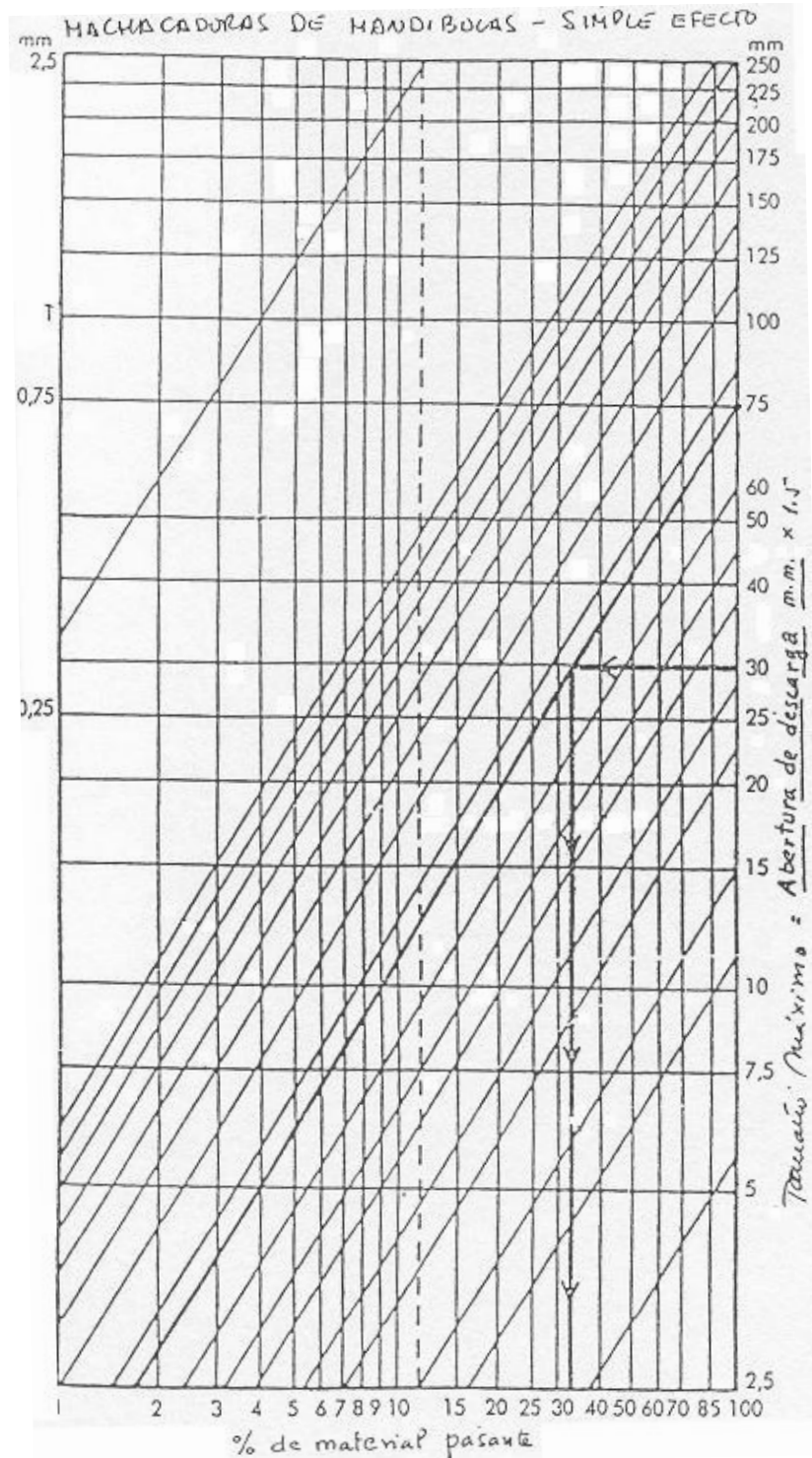


Figura 7.8. Diagrama para la estimación de la capacidad de una trituradora de mandíbulas en función de los parámetros característicos de la máquina.



Il diagramma a fianco illustra, in ordine di massima, la composizione granulometrica del materiale da frantumare in funzione dell'apertura di scarico del frantoio, dato che a seconda della sua natura il materiale si comporta in modo diverso. Ad esem-

pio, se l'apertura massima è di 75 mm., il materiale sotto 30 mm è il 32% mentre il restante 68% è compreso tra 30 e 75 mm. L'inclinazione delle rette tracciate sul diagramma variano in funzione del materiale.

### Ejercicio de aplicación

Cálculo de los parámetros básicos de funcionamiento de una trituradora de mandíbulas.

<b>Ejercicio:</b> Una trituradora de mandíbulas de simple efecto, de las siguientes características:									
		- Boca : H = 1060 mm;		L = 1400 mm					
		- Proyección horizontal del recorrido, en la parte inferior de la mandíbula						42 mm	
		- Angulo de toma ( alfa ) =		22°					
		- Velocidad = 220 r.p.m. Mandíbulas acanaladas. Se alimenta con tolva reguladora y							
		alimentador precribador. Se eliminan los finos menores de		180 mm					
		La roca alimentada es una ofita, con $W_i$ = 14,7		La densidad real es de $\rho_s = 3,1 \text{ t/m}^3$		Se			
		considera un valor de 0,6 para el coeficiente de aflojamiento, para calcular la densidad aparente de		mineral y se obtiene ( $\rho_a = 3,1 \cdot 0,6 = 1,86 \text{ t/m}^3$ )					
		El tamaño de alimentación es $D_{80} = 350 \text{ mm}$		( considerar $D_{max} = 400 \text{ mm}$ )		y se pretende			
		triturar a $d_{80} = 140 \text{ mm}$							
		En una machacadora de este tipo, se puede considerar que el paso por una malla cuadrada igual al							
		reglaje, es del 60 %.		Se conoce la curva característica de los productos obtenidos en una					
		trituradora, expresando los tamaños en porcentaje del $d_{80}$ . Se dispone de la información para resolver							
		la fórmula de Gieseking, coeficiente de alimentación, coeficiente de utilización, coeficiente ligado al							
		ángulo de toma, etc.		<i>Determinar:</i>					
a)		Reglaje de la machacadora			b)		Capacidad en t / h		
c)		Tanto por ciento de menores de 63 mm, que se obtendrá en el producto triturado.							
d)		Potencia, en kW, del motor eléctrico necesario							

Si no se especifica el tipo de mandíbula lo normal es considerar que son mandíbulas acanaladas como modelo de uso más genérico.

Se utiliza para la solución la fórmula de Gieseking, que se fundamenta en el estudio técnico del funcionamiento del equipo, aplicada a la realidad del trabajo de fragmentación y las tablas y gráficos que se adjuntan a continuación y que indican, para los diversos tipos de trituradora, el análisis granulométrico estándar de los productos triturados.

En el gráfico de “*curvas generales correspondientes a la distribución granulométrica para diferentes tipos de trituradoras*”, se da el porcentaje de pasantes para un tamaño dado de producto triturado. El tamaño de producto se referencia, en porcentaje, al tamaño máximo posible con la regulación del equipo.

Si se utilizan tablas o datos de los fabricantes, es útil adaptar al caso en estudio, la variación del valor de los factores de la fórmula anterior, de Gieseking, entre las condiciones impuestas por el fabricante a sus datos y los del caso particular en estudio.

<b>Solución</b>		a) Reglaje de la machacadora, s (máxima abertura en posición abierta de la mandíbula)								
a) Cálculo del $d_{80}$ para un $d_{80} = 140$ mm (curvas de análisis granulométrico tipo A)										
$d_{80} = 80$	$d_x = 79$	$\%d_{max} = 60$								
$\%d_{max} = 61,67$	$d_x = 82$	$\%d_{max} = 65$							140	
				$d_{max} = \frac{140}{0,6167} = 227$ mm						
El paso por una malla cuadrada igual al reglaje se corresponde con el $P\% = 60$ luego										
$P\% = 60$	$P_x = 59$	$\%d_{max} = 35$								
$\%d_{max} = 36,00$	$P_x = 64$	$\%d_{max} = 40$								
				$(\%d_{max}) = 36,00$						
reglaje: $s = d_{max} \cdot \frac{100}{100} = 227$				$\frac{100}{100} = 81,73$						
				100		100		82 mm		
<b>b)</b>		Capacidad en t/h								
		Utilizamos la fórmula de Giesecking		$C (t/h) = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n \cdot pa$						
$f =$ finos eliminados, mandíbulas acanaladas				$0,000088$						
$a = 1 + 0,03 \cdot (26 - \alpha) = 1,12$				para interpolación lineal						
$u = f(R)$ y tipo de descarga (A) para		$R = d_{max} / H$		$R = 0,38$		$R = 0,35$		$u = 1,00$		
				$u = 0,997$		$R = 0,40$		$u = 0,995$		
$s = 8,2$ cm		calculado								
$d = 4,2$ cm		dato								
$L = 140$ cm;		dato		$(\alpha) = 22^\circ$		$0,384$ radianes				
		$tg(\alpha) = 0,6356$								
$n_{lim} = 664 \times \frac{d}{d}$				$\frac{664}{4,2} = 206$ r.p.m.		<b>"correcto"</b>				
$pa = p \cdot \mu = 3,1 \times 0,6 = 1,86$										
$C (t/h) = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n_{lim} \cdot pa$										
$C = 8,8E-05 \cdot 1,12 \cdot 0,997 \cdot 8,2 \cdot 4,2 \cdot 140 \cdot 206 \cdot 1,86 = 181,5$ t/h										
<b>c)</b>		Material triturado inferior a $63$ mm								
$d_{max} = 227$ mm				$63$						
				$\%d_{max} = \frac{63}{227,03} \times 100 = 27,75\%$						
						valores para interpolación lineal				
				$\%d_{max} = 27,75$		$\%d_{max} = 25$		$\% \text{ inf} = 48$		
				<b>% inferior a 63 mm 51,3</b>		$\%d_{max} = 30$		$\% \text{ inf} = 54$		
<b>d)</b>		Motor eléctrico necesario								
$d_{80} = 140$ mm				$140000 \mu\text{m}$						
$D_{80} = 350$ mm				$350000 \mu\text{m}$						
				$1$		$1$		$Wi = 14,7$ kWh/st		
								st: short t		
$Wp = 10 \cdot Wi$				$\frac{140000}{350000} = 0,4$		$0,1444$ kWh / st				
$Pm = \frac{181,5}{0,907} = 201,2$ kW				$2$		$= 57,803$ kW				
								Motor a instalar = <b>55 80 kW</b> (cálculo en incrementos de 25 Ud)		

**Nota:** La velocidad prevista para el equipo es algo superior a la velocidad crítica, 220 r.p.m. Si se considera la velocidad límite en cálculo de 220 r.p.m. se debe corregir el desplazamiento,  $d = 3,68$  cm, y para este supuesto la capacidad es de 169,9 t/h. La máquina posible, en el catálogo incluido (pág. 7) corresponde al modelo 120G ó 150G (capacidad correcta, regulación algo forzada y potencia en rango).



Cálculo de la capacidad de una trituradora		Fórmula de Gieseking	
$C (t/h) = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n \cdot p_a$			
f =	coeficiente de utilización, ver tabla de valores		
a =	coeficiente ligado al ángulo de toma	$a = 1 + 0,03 \cdot (26 - \text{alfa})$ ;	alfa = ángulo de toma en grados (posición cerrada)
u =	factor ligado al coeficiente de alimentación, ver curva.		
s =	reglaje en cm	$s = d + e$	
d =	recorrido en cm		
L =	longitud de la boca en cm		
n =	velocidad en r.p.m.	$n = 664 \cdot \frac{\text{tg}(\text{alfa})}{d}$	( alfa = 20°; n = $400 \cdot \frac{1}{d}$ )
$p_a =$	$p \cdot \mu$ densidad aparente, siendo :	$p =$ densidad real en: t/m <sup>3</sup> , kg/dm <sup>3</sup> , kg/l, g/cm <sup>3</sup>	
		$\mu =$ coeficiente de aflojamiento, (se puede tomar un valor aproximado de 0,6)	
f.- Coeficiente de utilización			

Naturaleza de la alimentación	Mandíbulas lisas	Mandíbulas acanaladas
Con finos normales ( tamaño menor que el reglaje de la máquina )	0,000144	0,000106
	0,96	0,71
Con los finos eliminados ( mediante un precribador )	0,000126	0,000088
	0,84	0,59
Cuidadosamente cribados ( con criba )	0,000108	0,000072
	0,72	0,48

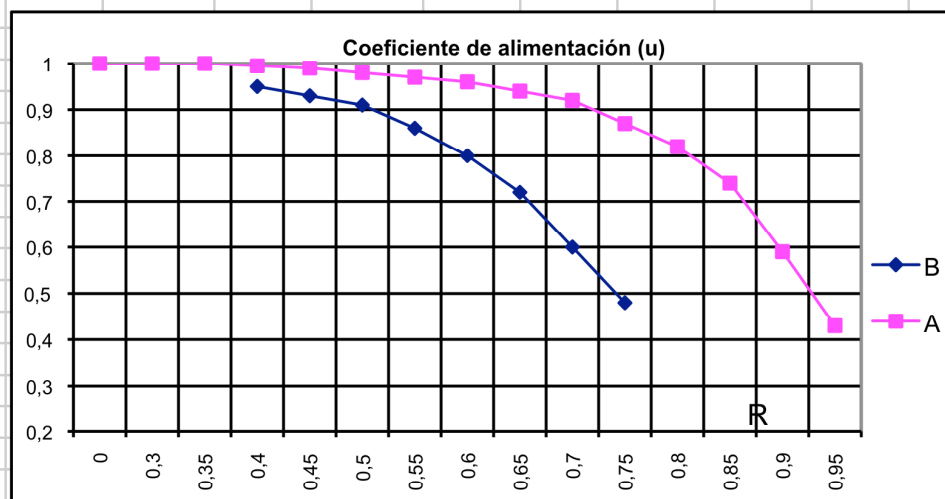
Nota: Desviación respecto al coeficiente teórico de 0,00015 ( no utilizar en los cálculos )

u.- Coeficiente de alimentación

$$R = D_{\max} / H ;$$

H = profundidad de la cámara de quebrantado (abertura superior)

R	B	A
0		1
0,30		1,00
0,35		1,00
0,40	0,95	1,00
0,45	0,93	0,99
0,50	0,91	0,98
0,55	0,86	0,97
0,60	0,80	0,96
0,65	0,72	0,94
0,70	0,60	0,92
0,75	0,48	0,87
0,80		0,82
0,85		0,74
0,90		0,59
0,95		0,43



A: Alimentación regulada mediante tolva de distribución

B: B: Descarga directa desde camión o vagoneta a la cámara de quebrantado

### Notas para cálculo:

- Para el reglaje “s” (posición abierta), medido en cm, se consideran valores extremos 1/3 y 1/8 de la boca de admisión.
- El recorrido o amplitud del movimiento “d”, expresado en cm, suele oscilar entre el 25% y el 40% del reglaje. Si no se conoce se puede usar el valor medio 0,33·s.
- Para el valor de n se debe utilizar el calculado mediante la ecuación correspondiente, y para las r.p.m. de funcionamiento del equipo, deben ser siempre algo superiores a las calculadas por la fórmula para evitar atascos de material y paradas. Si no se conoce, se puede utilizar el valor medio dado por la curva que relaciona las revoluciones del equipo con el tamaño de la boca de admisión (ver apartado de “velocidad de rotación” pág. 14).

**Análisis granulométrico de los productos triturados**

% d <sub>max</sub>	% en pasantes					% d <sub>max</sub>
	A	B	C	D	E	
1	4	3	2	1	2	1
2	6	4	3	1	3	2
4	13	8	6	2	6	4
7	20	13	10	3	10	7
10	26	18	14	6	14	10
15	33	24	20	11	20	15
20	41	31	25	19	27	20
25	48	37	29	32	35	25
30	54	45	33	48	42	30
35	59	51	37	60	48	35
40	64	57	42	73	55	40
45	68	62	46	79	61	45
50	72	68	51	84	67	50
55	75	72	55	87	72	55
60	79	78	60	89	78	60
65	82	82	65	91	86	65
70	85	86	70	93	93	70
75	87	90	75	95	96	75
80	90	94	80	96	97	80
85	92	96	85	97	98	85
90	95	98	90	98	99	90
95	98	99	95	99	99	95
100	100	100	100	100	100	100

Para más precisión en valores intermedios se puede interpolar. para: (x > i)

$$B(x) = B(i) + \frac{P(x) - P(i)}{P(i+1) - P(i)} \cdot (B(i+1) - B(i))$$

**A.-** Trituradora de mandíbulas

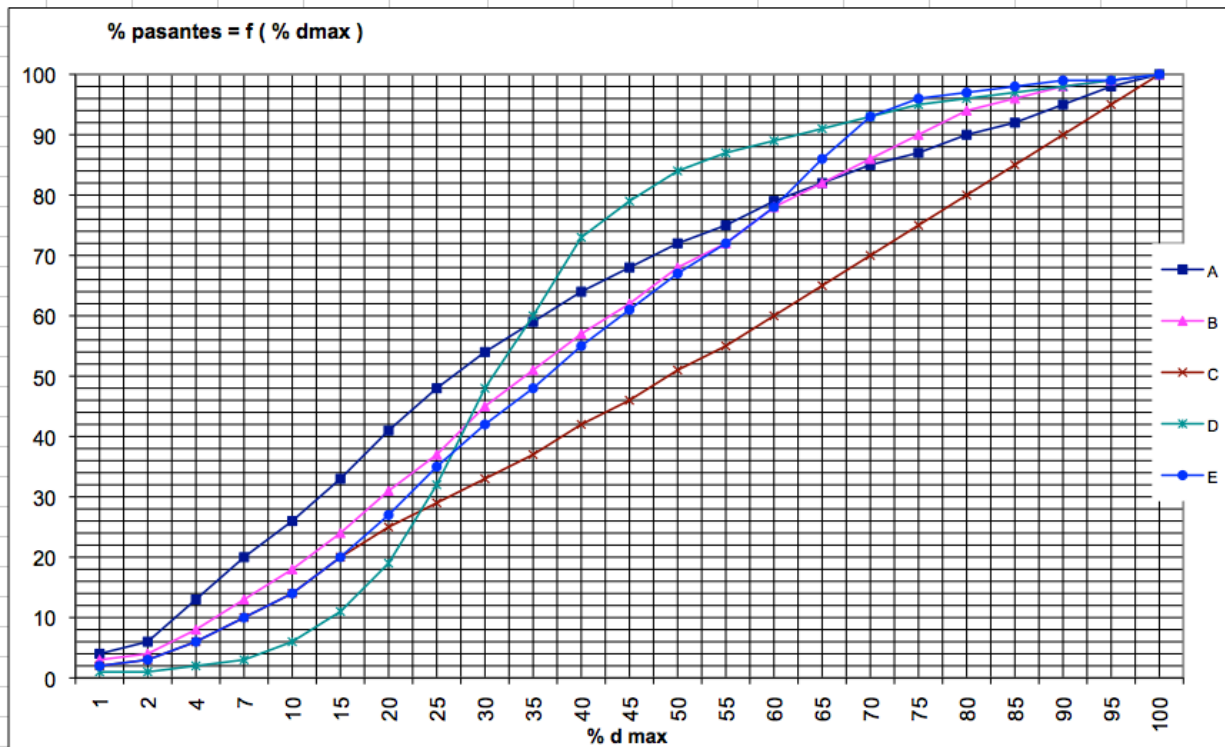
**B.-** Trituradora de martillos

**C.-** Trituradora de cilindros lisos en circuito abierto

**D.-** Trituradora de cilindros lisos en circuito cerrado

**E.-** Trituradora de cilindros dentados

Ejemplo de uso: En una trituradora de mandíbulas (A) el 82% del producto triturado pasa por una malla cuadrada de tamaño 65% del valor d<sub>max</sub>

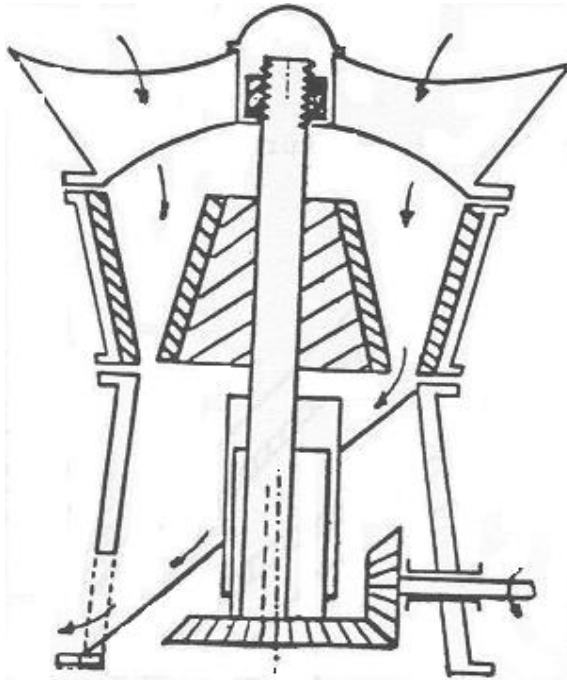


Curvas generales correspondientes a la distribución granulométrica para diferentes tipos de trituradoras. Se da el porcentaje de pasantes para un tamaño dado de producto triturado. El tamaño de producto se referencia, en porcentaje, al tamaño máximo posible con la regulación del equipo.

## 7.3. Trituración primaria II

### 7.3.1. Trituradoras giratorias primarias o estándar

En estas máquinas los materiales a triturar se reducen por compresión entre una pared cóncava fija, denominada cóncavo, y un tronco de cono móvil, denominado nuez o cabeza, que está dotado de un movimiento excéntrico en el interior del espacio limitado por ambas superficies. El cono móvil, en su desplazamiento de giro excéntrico en uno de los extremos, se acerca a cada una de las generatrices de la pared cóncava fija y después se aleja, sometiendo al material a sucesivas compresiones y liberaciones de presión.



La nuez puede girar solidaria con el eje o libre para disminuir el rozamiento y el movimiento excéntrico se puede producir por el giro excéntrico de la base del eje o por el giro centrado y ser la nuez la que está montada de forma excéntrica y solidaria.

El material en el interior circula por gravedad a una zona inferior donde será sometido a una nueva compresión. La fuerza dominante es la compresión existiendo en menor grado acciones de flexión y de abrasión por el efecto de giro relativo de la nuez y el cóncavo y las acanaladuras de las protecciones.

La trituración es discontinua en cada generatriz pero el efecto práctico durante un giro completo, en la cámara de quebrantado (volumen entre los dos conos, el móvil y el fijo), es de continuidad en el proceso. La descarga es continua en tanto se mantenga la alimentación.

La regulación se efectúa modificando la altura relativa de cóncavo y nuez y esto se puede conseguir regulando la tuerca superior que soporta la nuez o bien mediante un sistema hidráulico que eleva el eje y que, normalmente, sirve de sistema anti-intriturable.

Como característica relevante se puede indicar que este tipo de equipos produce menos atascamientos que los de mandíbulas y que para similar boca de entrada tiene una mayor producción. Se designa, normalmente, por la apertura de la boca que es la distancia radial desde el borde del cóncavo hasta la nuez, valor que es algo inferior a la mitad del diámetro del cóncavo.

El ángulo de toma (ángulo de nip) es el formado entre el cono móvil y el fijo en la posición más cerrada y el reglaje se mide, por el contrario, en la posición relativa más abierta del movimiento de rotación de las mandíbulas.

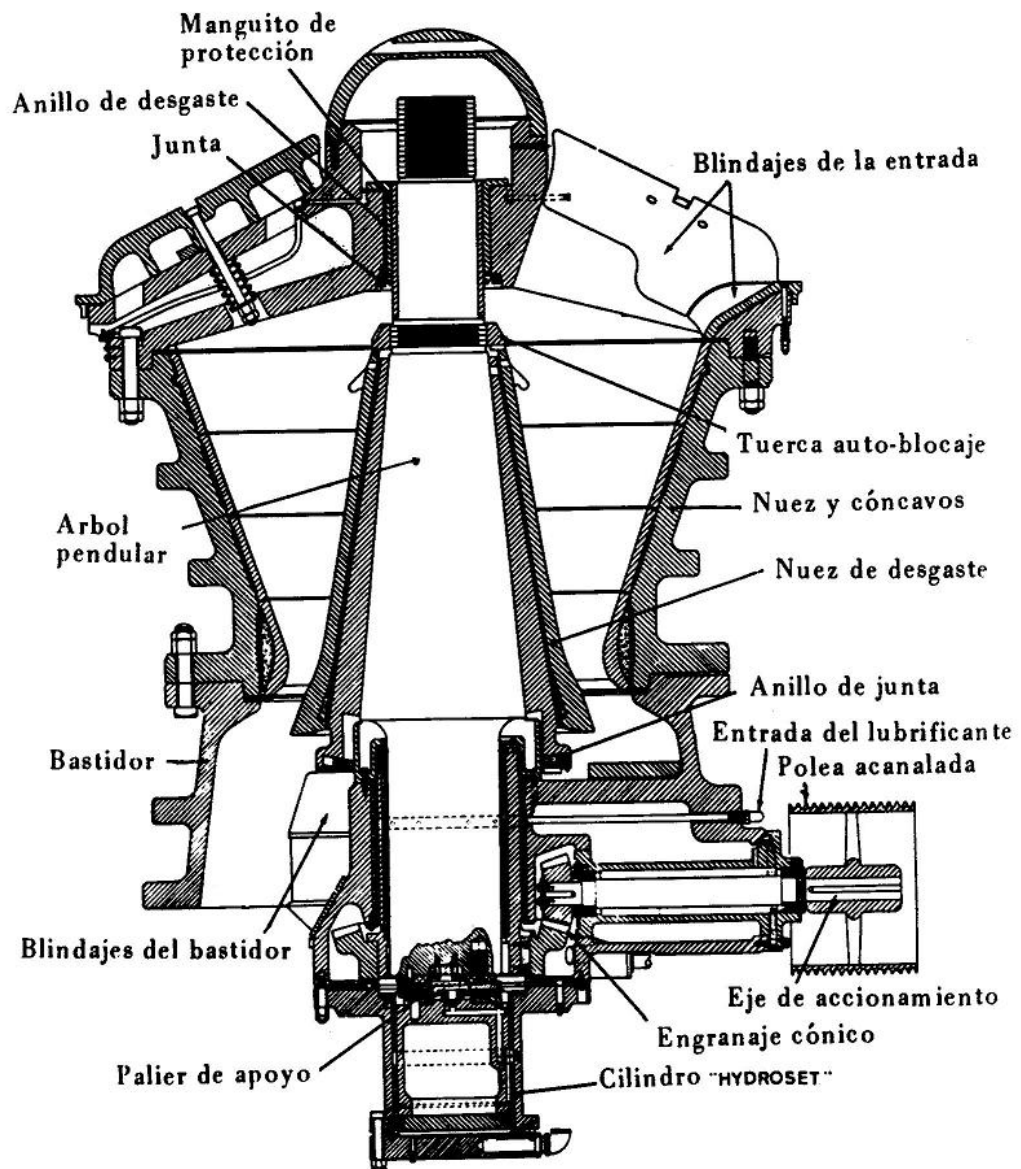
La descarga del material es por gravedad pero a través de un plano inclinado de recogida, por lo cual es más sensible que las de mandíbulas a los materiales pegajosos, es más sensible a la humedad.

### 7.3.2. Constitución de la máquina

- a) Bastidor inferior, que encierra, normalmente, los órganos de accionamiento para el giro, y el reglaje en las de tipo hidráulico. En las de tipo mecánico el reglaje se efectúa, normalmente, por la tuerca o sistema de sujeción superior de la nuez.

- b) Bastidor superior, revestido interiormente de placas de aislamiento, soporta la acción directa de los materiales, y hace las funciones de mandíbula fija. El revestimiento está dividido en placas para facilitar el recambio.
- c) Anillo de entrada, sección circular que soporta el crucero o viga (o patas de araña, las sujeciones pueden ser 2, 3 ó 4 y van revestidas con placas de acero al manganeso por la dureza del trabajo en la posición de entrada al equipo, reciben el mayor impacto) que sirve de apoyo al cono móvil o mandíbula móvil mediante una tuerca. La tuerca se utiliza para modificar el reglaje. En los equipos con sistema hidráulico, es este sistema el utilizado para soportar la mandíbula y modificar el reglaje.
- d) En general son dos troncos de cono, uno fijo que hace las funciones de mandíbula fija y uno móvil e invertido que hace las funciones de mandíbula móvil. La abertura de admisión es el radio libre superior y marca cual es el tamaño máximo admisible en el equipo.

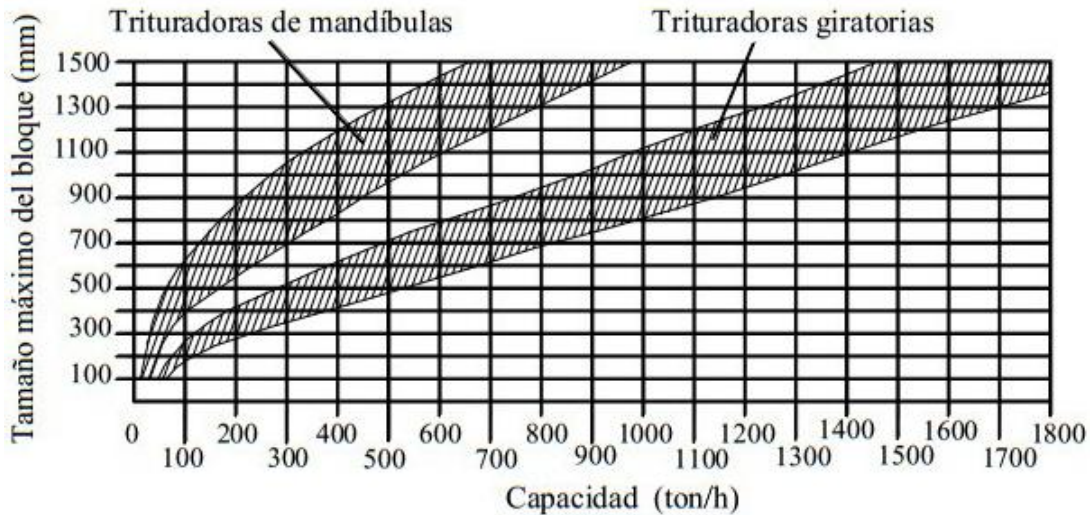
**7.3.3. Elementos principales que constituyen una trituradora giratoria**



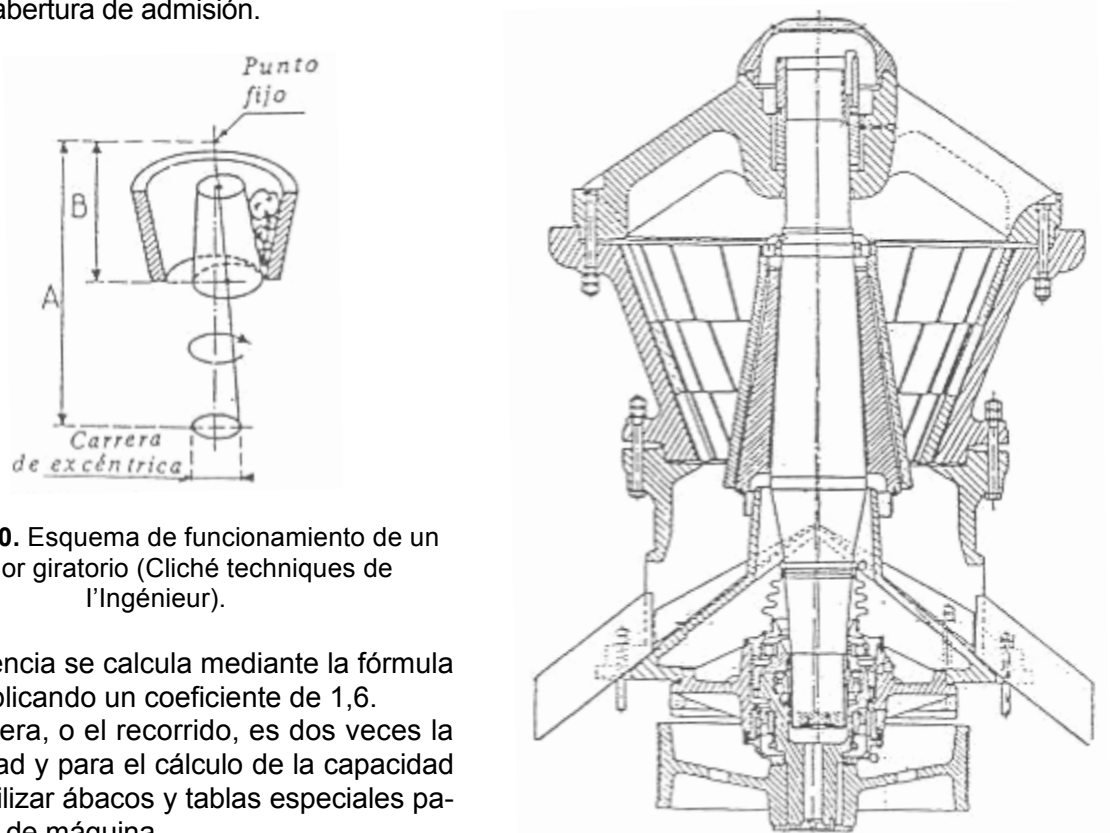
**Figura 7.9.** Tritrador giratorio (Cliché Allis-Chalmers).

### 7.3.4. Comparación entre la trituradora Blake y la trituradora giratoria

La capacidad, para igual abertura de admisión, de la trituradora giratoria es de 3 a 5 veces superior a la de mandíbulas, también es notablemente más pesada por lo cual es más cara en similar proporción al peso.



La relación de reducción habitual es de 3 a 8 y, por su capacidad, es indicada para grandes tonelajes, uso en grandes minas o canteras. Tiene un uso indicado como trituración primaria, y admite una utilización como secundaria llegando a tamaños de 40 mm o algo inferiores según regulación y abertura de admisión.



**Figura 7.10.** Esquema de funcionamiento de un triturador giratorio (Cliché techniques de l'Ingénieur).

La potencia se calcula mediante la fórmula de Bond aplicando un coeficiente de 1,6.

La carrera, o el recorrido, es dos veces la excentricidad y para el cálculo de la capacidad se suele utilizar ábacos y tablas especiales para este tipo de máquina.

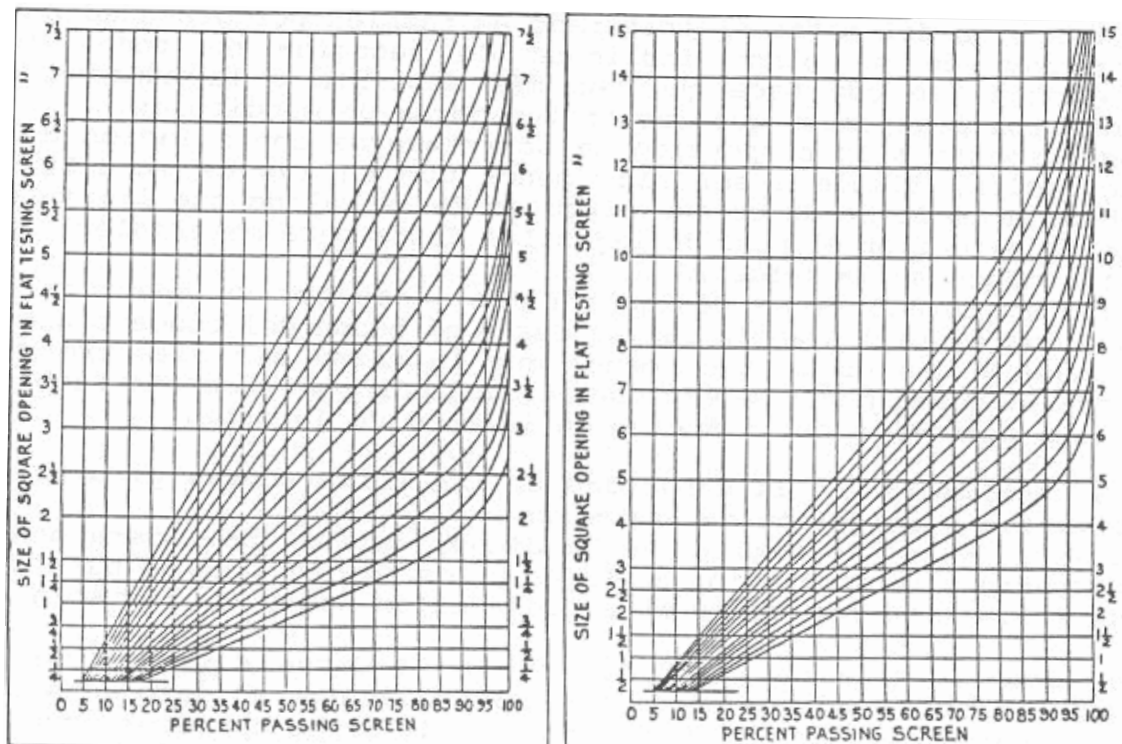
**Figura 7.11.** Tritrador giratorio sin engranajes (Cliché Babbittless).

De forma general se pueden aplicar los principios estudiados para las trituradoras de mandíbulas con las particularidades propias que se indican.

Con respecto a la proporción de sobre tamaños con relación a la regulación, es menor en las giratorias que en las trituradoras de mandíbulas debido a la forma de corona circular de la salida que limita, en extensión, el paso de las lajas. Ver tabla de paso por una malla cuadrada igual al reglaje incluida en el apartado de trituradoras de mandíbulas.

La granulometría se deduce de las curvas características y que lo constituye una familia de curvas (en el caso de la trituradora de mandíbulas es una única curva) correspondiendo cada curva a una regulación diferente de la máquina.

Se da como ejemplo las curvas de la figura que se adjunta, Allis-Chalmers, para alimentación directa de todo uno o cribado por rejilla fija. En estas figuras hay que entrar en abscisas, donde está representado el tanto por ciento en peso, con el valor del paso por una malla cuadrada igual al reglaje (ver cuadro con ejemplos en trituradoras de mandíbulas), y subir verticalmente hasta un valor de la abertura igual al reglaje. La curva que pasa por ese punto es la que corresponde a la granulometría del producto. Si no coincide ninguna se interpola entre las dos más próximas.



**Figura 7.12.** Curvas granulométricas típicas de productos de trituradoras giratorias primarias (según Allis-Chalmers) para regulaciones menores y mayores de 7,5 pulgadas.

El factor principal de selección, igual que en las de mandíbulas, es el tamaño máximo de admisión, que debe ser como máximo el 80% de la abertura de la boca.

$$D_{max} < 0,8 \cdot (R_c - R_n); \quad R_c: \text{Radio del cóncavo}; \quad R_n: \text{Radio de la nuez.}$$

### 7.3.5. Cálculo de la capacidad

Para el cálculo de la capacidad se pueden utilizar ábacos del fabricante, fórmulas aproximadas por métodos de estimación o la fórmula de Giesecking aplicada a las trituradoras de mandíbulas, con las modificaciones que se indican.

Aplicación de la fórmula de Giesecking a las trituradoras giratorias:

$$Q(t/h) = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n \cdot p_a$$

L: Corresponde a la longitud de la boca<sup>12</sup> en cm. Se debe considerar la circunferencia media correspondiente a la corona circular de descarga en este tipo de aparato y que será igual al diámetro de la base de la nuez más la regulación multiplicado por  $\pi$ .

$$L = (\Phi_{\text{nuez}} + e) \cdot \pi$$

Para estos equipos giratorios *la regulación* es dos veces el desplazamiento de la excéntrica.

*El recorrido* varía, normalmente, entre un 15% y un 30% del reglaje, y el resto de factores se pueden considerar los mismos.

Para la determinación de la capacidad mediante los datos de los fabricantes, usualmente en forma de tablas, es necesario corregirlos para adaptarlos al caso real en estudio utilizando para ello la variación de los factores de la fórmula de Giesecking entre unas condiciones y otras. Esta operación, por el efecto lineal de los parámetros en la fórmula, es de sencilla aplicación, manteniendo la congruencia de unidades.

Estos equipos pueden trabajar recibiendo directamente la descarga del camión, haciendo la cámara de la máquina de silo o tolva de alimentación. En este caso la instalación se realiza a nivel con la rampa de volcado de los camiones, con la precaución obligada de instalar un muro con altura y capacidad suficiente para soportar el golpe de un camión y evitar la caída dentro del equipo.

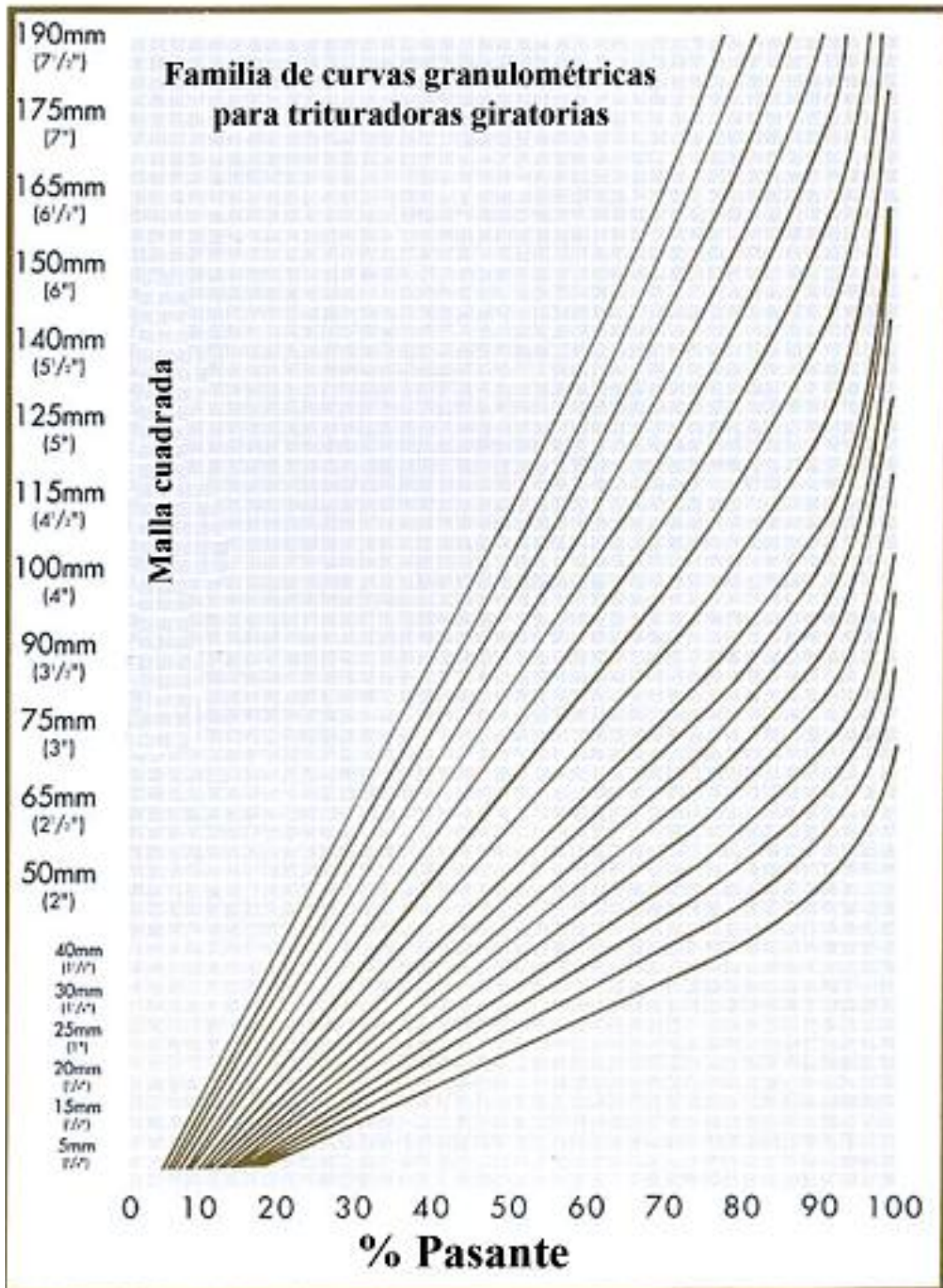
Es corriente en la instalación de estas unidades giratorias, especialmente en tamaños grandes, la disposición de un martillo neumático en la boca de carga para trocear los tamaños que exceden el máximo absorbido por la máquina, además de instalar una reja de limitación de tamaños de alimentación si no se asegura esto por otro método.

---

<sup>12</sup> También, la longitud de la ranura de salida.

Trituradoras giratorias primarias y secundarias						Características aproximadas de los tamaños más corrientes	
Abertura nominal		Producciones horarias medias en toneladas					
mm	Pulgadas (*)	Reglaje mínimo	t	Reglaje medio	t	Reglaje máximo	t
600	24/48	70	150	90	220	125	300
750	30/35	75	216	100	440	140	700
900	36/55	100	240	125	480	140	700
1.070	42/65	115	480	150	900	175	1.300
1.200	48/74	125	830	160	1.400	200	2.000
1.350	54/74	140	870	175	1.700	200	2.000
1.500	60/89	150	1.000	190	1.600	225	2.500
1.500 (1)	60/109	215	2900	250	3.600	300	4.500
350 (2)	13/36	32	70	50	90	63	180
400 (2)	16/50	37	135	63	270	90	370
600 (2)	24/60	37	175	75	360	100	500
750 (2)	30/70	50	270	90	720	125	1.000
Abertura nominal							
mm	Pulgadas (*)	Velocidad excéntrica r.p.m.	Motor recomendado kW		Masa total toneladas		
600	24/48	200	125		50		
750	30/35	175	180		65		
900	36/55	175	220		72		
1.070	42/65	150	270		115		
1.200	48/74	135	320		200		
1.350	54/74	135	375		225		
1.500	60/89	110	450		385		
1.500 (1)	60/109	100	750		550		
350 (2)	13/36	250	80		12		
400 (2)	16/50	225	120		30		
600 (2)	24/60	175	180		64		
750 (2)	30/70	150	250		105		
(*) La segunda cifra indica el diámetro en la base del cono en pulgadas.							
(1) Modelo reforzado para minerales extra-duros.							
(2) Modelos para reducción secundaria.							





## 7.4. Trituración secundaria I. Conos

Para la trituración secundaria, alimentaciones más finas, segundo escalón de la trituración lo que significa tamaños comprendidos entre 100 y 10 cm en la denominación de Hukki o tamaños de salida de los equipos de fragmentación entre 40 y 30 mm considerados gruesos en la denominación más habitual de productos de cantera o antigua denominación se utilizan máquinas más pequeñas, de conos, que trabajan de forma similar a las trituradoras giratorias y son de concepción parecida.

Estos equipos, de conos por la forma del cóncavo y la nuez, tienen una menor capacidad de producción a medida que se disminuye la abertura de boca por lo que es necesario instalar una batería en paralelo para dar altas producciones.

El cálculo y la selección de los equipos se realizan de forma similar a las trituradoras giratorias ya descrito anteriormente y su diseño es del tipo de la figura, cono Symons, que es la máquina representativa de este escalón.

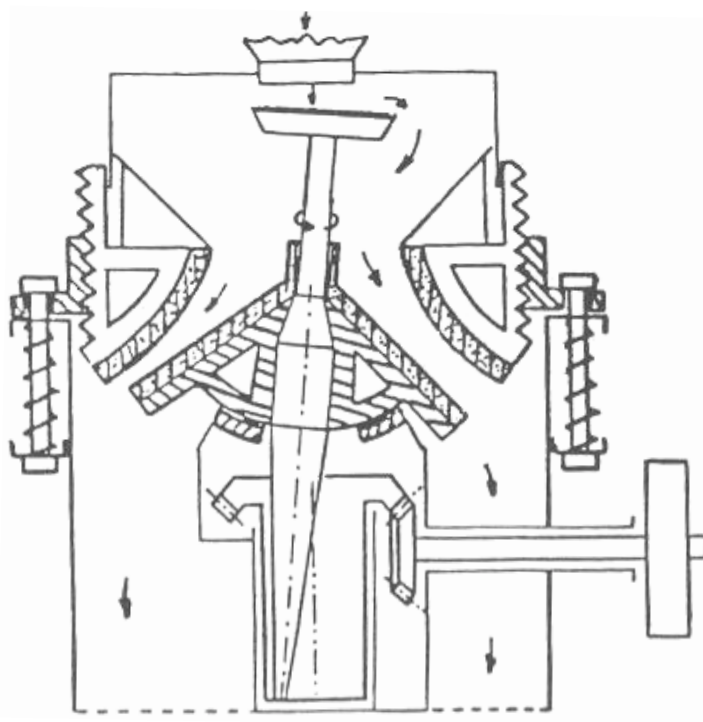


Figura 7.13. Esquema de un cono Symons.

La denominación general de estos equipos es la de conos por la forma de la mandíbula móvil. La nuez, parte giratoria del equipo, va apoyada en su parte inferior y el extremo superior del eje directriz de la nuez, en su extremo superior oscila libremente y lleva, normalmente, un plato que hace la labor de distribuidor de la carga en toda la circunferencia de la boca de alimentación.

La descarga, por el diseño de cóncavo y nuez, es prácticamente paralela tal como se ve en el esquema de un cono Symons.

La excentricidad es mayor que en los equipos que hacen la trituración primaria pero también las r.p.m. consiguiendo así que ninguna partícula pueda salir sin ser triturada en la parte recta de la descarga.

Esta combinación entre recorrido y velocidad de rotación hace que existe mayor agitación dentro de la cámara y se facilite por un lado la trituración por choque entre partículas y la descarga o avance de la carga que por el efecto del ángulo de descarga, tal como se ve en la figura, queda atenuado el efecto de la gravedad. Estas máquinas son sensibles a la humedad por lo indicado anteriormente y a la pegajosidad de los minerales.

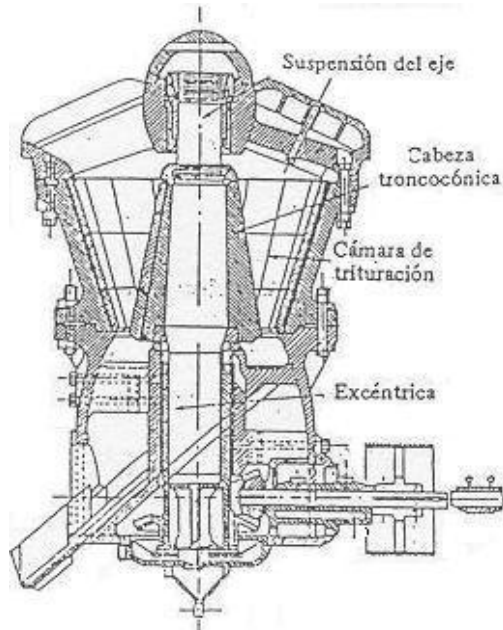
El efecto del diseño de la salida y la forma de trabajo del equipo, zona paralela y revoluciones altas, hace que los minerales no puedan salir sin haber sido triturados al menos una vez. Con esto se asegura que, al menos, una de las dimensiones de la partícula es igual o inferior a la dimensión de la mandíbula en posición cerrada. Esto es ahora la definición de regulación para estos equipos, al contrario que en las giratorias primarias.

La regulación, medida en mm, se define como la dimensión correspondiente a la "posición cerrada de las mandíbulas".

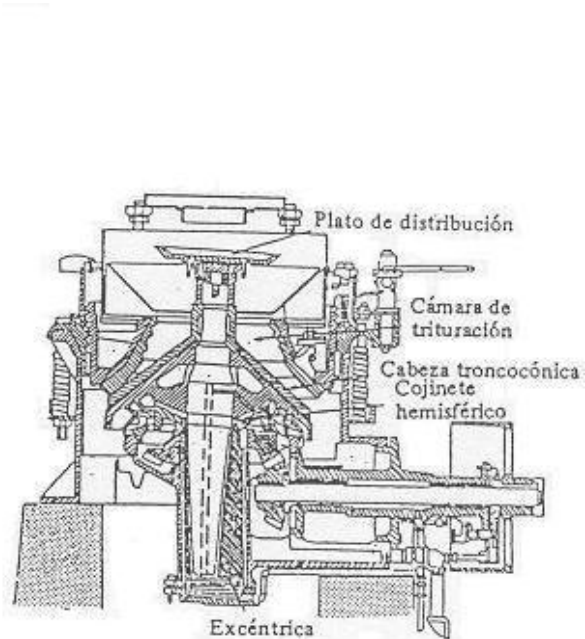
Los conos se designan, normalmente, por el diámetro inferior de la nuez o cabeza expresado en mm (pulgadas en el sistema Inglés).

El efecto de tratar tamaños medianos o pequeños y alta velocidad de rotación (efectos de deslizamiento y fricciones) hace que el desgaste sea fuerte por lo que es necesario recubrir la nuez y el cóncavo con acero al manganeso y a veces endurecido por golpeo<sup>13</sup>.

El mecanismo de regulación de la abertura consiste en una pieza roscada que soporta el cóncavo y que va unida a la estructura soporte. Variando el roscado se modifica la distancia nuez cóncavo. Una variante sobre el tipo Symons lo constituyen los hidroconos donde el eje que soporta la nuez va soportado por un sistema hidráulico y en este caso la modificación de la regulación se efectúa actuando sobre este sistema.



**Figura 7.14.** Triturador giratorio tipo Gates.



**Figura 7.15.** Triturador giratorio tipo Symons Standard.

La figura muestra una imagen comparada de las trituradoras primarias giratorias y las del escalón secundario o terciario, tipo Symons.

Los sistemas con soporte hidráulico tienen la ventaja frente a los mecánicos, de poder descender notablemente la nuez para vaciar la cámara cuando ha quedado llena por una parada imprevista. Las trituradoras deben arrancar<sup>14</sup>, como norma general, con la cámara vacía para evitar los pares de arranque y sobre tensiones excesivas en el motor de arranque incluso roturas de partes mecánicas.

El mecanismo de seguridad ante intriturbables lo constituye, para el modelo con sistema hidráulico (aceites industriales) en estos modelos, a través de un absorbedor ó recuperador de expansiones formado por un sistema, depósito, de N<sub>2</sub> y un sistema de corona de muelles pretensados que soporta el cóncavo. Los muelles ceden ante un intriturbable y posteriormente recuperan la posición (ver folleto de fabricante que se incluye posteriormente).

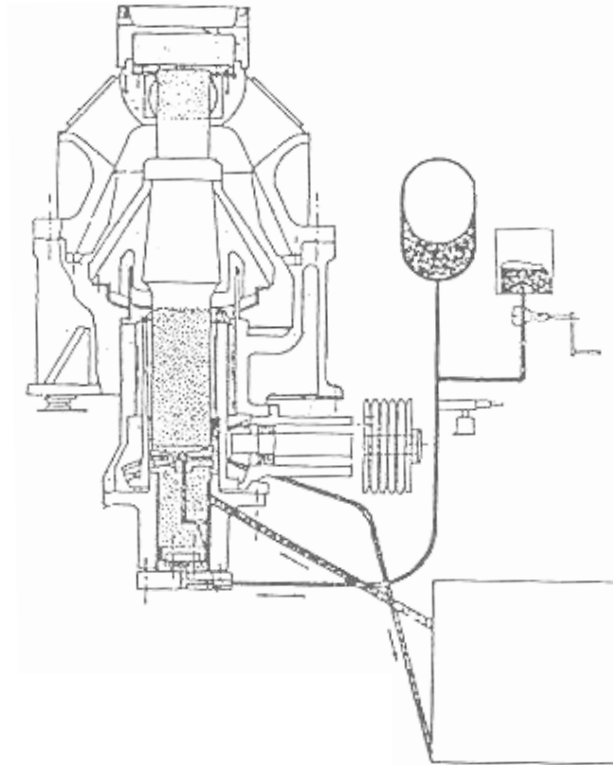
Por escalón de trabajo, tamaños pequeños en el entorno a 30 ó 40 mm, estas máquinas son sensibles a intriturbables de este orden de magnitud como pueden ser tornillos o tuercas, que son más frecuentes que intriturbables grandes, más fáciles de eliminar del circuito de trituración como puedan ser barras de perforación partidas.

<sup>13</sup> Este método produce en el acero tensiones internas con un efecto de mayor resistencia al desgaste.

<sup>14</sup> El arranque se efectúa siempre a cámara vacía, por lo cual, al fin de turno debe quedar el equipo descargado, pero pueden aparecer cortes imprevistos del suministro de energía y quedar el equipo con carga.

El triturador, ante intriturbables como tuercas, además de actuar el mecanismo correspondiente, está sujeto a mayores tensiones mecánicas y tiene un efecto perjudicial para la fragmentación y es que esta actuación permite pasar elementos no fragmentados de tamaño mayor contaminando el proceso del equipo y apareciendo en el producto una cantidad mayor de sobretamaños.

El efecto anterior aconseja la instalación de detectores y eliminadores de intriturbables metálicos.



**Figura 7.16.** Triturador Hydrocone con reglaje y dispositivos de seguridad hidráulicos.

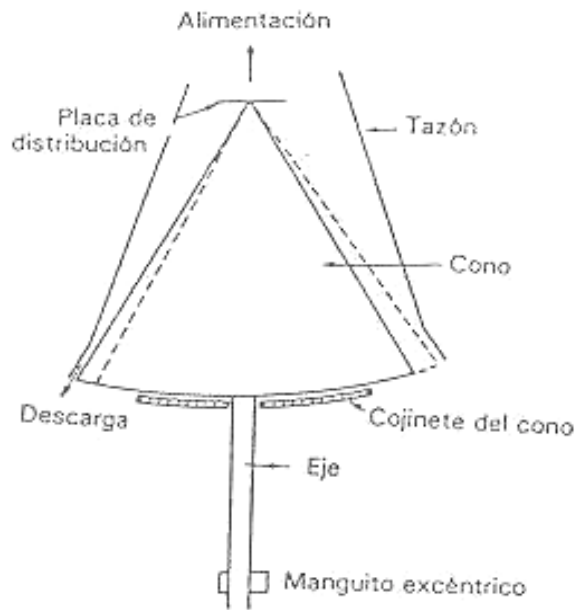
*La relación de reducción*, de forma general, puede ser de 6 a 8 cuando trabajan en la trituración secundaria y disminuye, de 2 a 3 cuando realizan trituración terciaria o más fina (escalón de molienda gruesa).

La forma de los granos es bastante cúbica, la alimentación debe ser regular (cribada) y se debe trabajar a cámara llena para dar buenos resultados y un desgaste uniforme de las placas de desgaste.

Los conos pueden modificar el diseño de las cámaras y montar sobre una misma estructura diferentes camisas para adaptarse a las necesidades de producción y así existen conos de cabeza estándar o conos de cabeza corta y para ambos la cámara puede ser con salida fina, media, gruesa o extra gruesa.

*Potencia del motor.* Para ambos sistemas la potencia se puede calcular por el método de Bond, con un coeficiente de mayoración de 1,3, similar al de los molinos debido al funcionamiento regular por el efecto de giro y ser alimentados con un material pretratado.

*La alimentación* se hace a través de la tolva de entrada que descarga en un plato giratorio, solidario con el eje de la nuez y que en su movimiento toma ángulos de inclinación y descarga en todo lo largo de la circunferencia.



**Figura 7.17.** Sección transversal funcional de una trituradora de cono.

*Sistema de movimiento, de giro.* Una diferencia importante con las trituradoras giratorias es el punto de apoyo del eje de giro. En las trituradoras giratorias primarias, el punto fijo del eje de giro está en la parte superior de la araña, ver esquema de funcionamiento de un triturador giratorio, y en los conos, el cono móvil se apoya en un palier esférico con lo cual el punto fijo del cono móvil está en el centro de la esfera y ambos extremos, alimentación y descarga, tienen un movimiento rotatorio.

En los conos, los bloques a triturar sufren un empuje del cono móvil sobre el cono fijo, además del efecto debido a la rotación del sistema. Este efecto no se produce en las giratorias primarias.

La *velocidad de rotación* está comprendida entre 400 y 600 r.p.m., más rápido que en las trituradoras giratorias primarias.

Existen dos tipos fundamentales de cono basándose en como resuelven el sistema de regulación y la forma de enfrentarse a los intriturbables que uno lo resuelve de forma mecánica, mediante resorte de muelle y sistemas de regulación mecánicos y el otro lo resuelve de forma hidráulica:

- Conos Symons.
- Hidroconos.

Los conos Symon tiene una relación de reducción que puede ser de 10 a 12 en los conos estándar y de 5 a 6 en los de cabeza corta y los hidroconos se mueven en el margen general para ambos modelos, de 6 a 8.

Para el *cálculo de la capacidad* se utilizan tablas y ábacos pudiendo, igual que en las trituradoras giratorias, utilizar la fórmula de Gieseking con la adaptación adecuada de la abertura de salida, o boca de descarga, indicada para las trituradoras giratorias.

*Elección de los conos.* La forma normal de elección es por el tamaño máximo admisible en entrada al equipo. Para los mecánicos, tipo Symons, el tamaño máximo debe ser menor del 80% de la abertura de la boca de entrada en posición abierta. La boca de entrada está limitada por la distancia dada por la diferencia de radios de la mandíbula fija y móvil en la posición abierta. Por el tipo de construcción que admite el desplazamiento vertical entre mandíbulas al modificar la regulación, esta dimensión depende de la regulación fijada en descarga para una misma máquina.

Para los hidroconos, por su sistema de reglaje y elevación automático ante bloques grandes o ante intriturbables, se admite un tamaño igual a la abertura o ligeramente inferior para cámara gruesa, de un 80% para cámara mediana y de 60% a 70% para cámara fina. La alimentación, se recomienda, que debe estar cribada.

Los hidroconos, debido a la posibilidad de ángulos de cono más abiertos, que da una cámara de trabajo de volumen creciente, que evita el riesgo de atascamiento y da un mayor aprovechamiento de la cámara de trituración, su relación de reducción puede llegar hasta 8 y se dividen, según la forma de la cámara o la forma de las mandíbulas o la relación entre cono y taza, en:

- a) De cámara o taza gruesa.
- b) De cámara o taza media.
- c) De cámara o taza fina.

En la figura se da una imagen de la diferencia de diseño correspondiente al tipo de cámara.

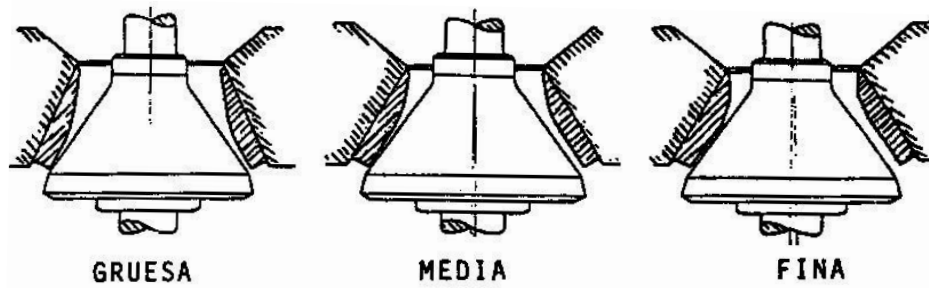


Figura 7.18. Tipos de cámara de los hidroconos.

La elección del tipo de cámara se efectúa en relación con el tamaño del producto,  $D_{max}$  y la finura deseada del triturado.

La *granulometría* de los productos se obtiene mediante las curvas características que facilitan, normalmente, los fabricantes. Para entrar en las curvas se ha de tener en cuenta el tanto por ciento de paso por una malla cuadrada igual a la regulación, y que en estos equipos se mide en la posición cerrada.

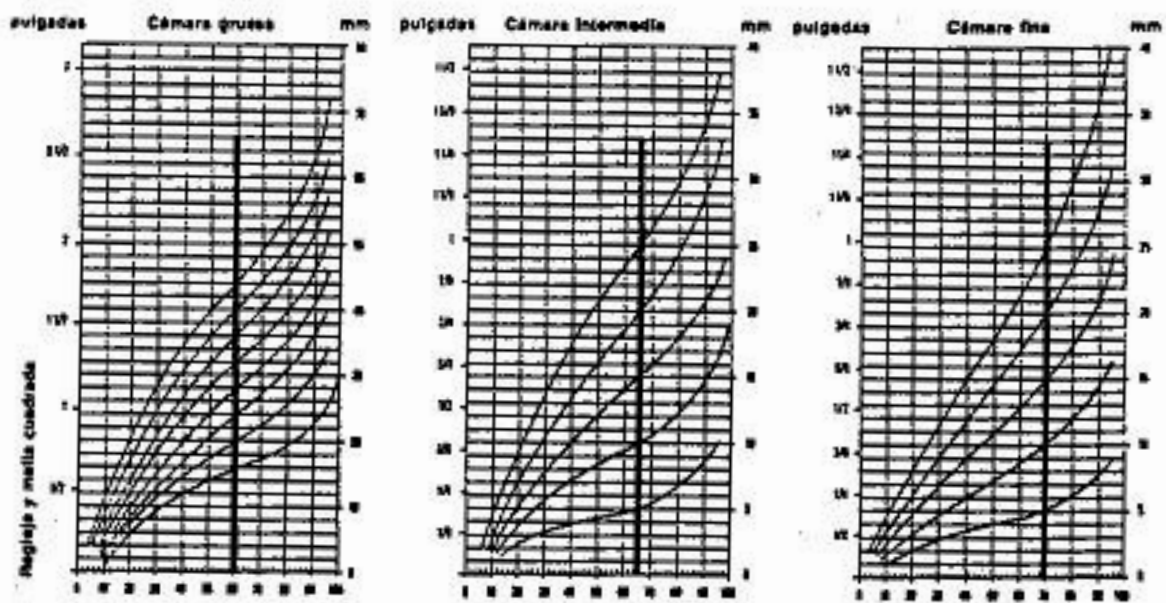


Figura 7.19. Diagrama de granulometría para material de machaqueo en porcentaje a través de orbe.

Como orientación, de los porcentajes de paso por una malla cuadrada igual a la regulación, se dan los porcentajes siguientes:

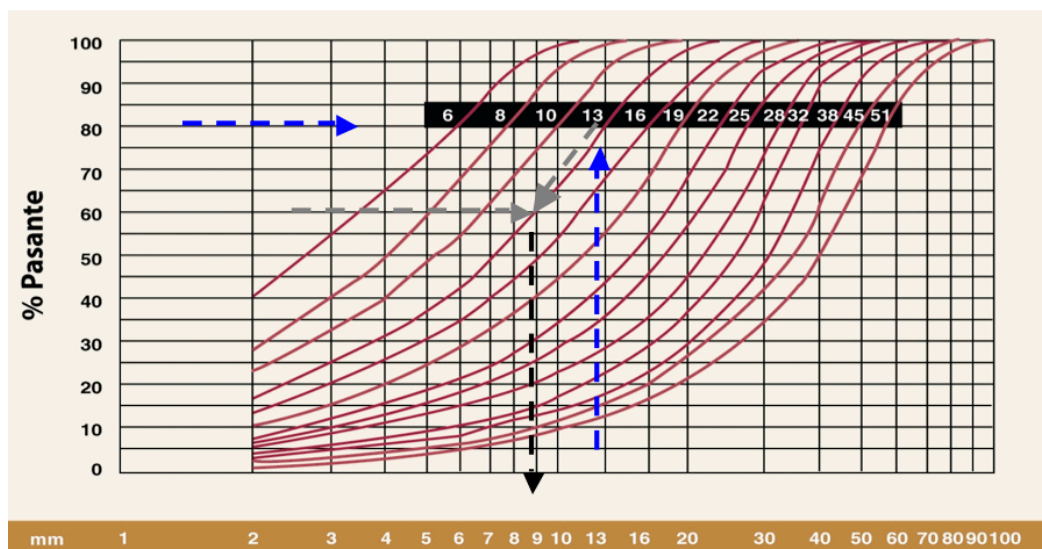
Tipo	Índice de Bond $W_i$	% de paso, malla cuadrada
Cono Symons	< 13	70
	> ó = 13	60

Tipo	Material	Cámara gruesa	Cámara media	Cámara fina
Hidrocono	Calizas	60	65 - 70	75
	Granito	60	65 - 70	70

Para la utilización de las curvas anteriores, se entra por abscisas con el valor del tanto por ciento de paso por la malla cuadrada del reglaje y se sube verticalmente hasta el valor de ordenada igual al reglaje en mm o pulgadas. La curva que pasa por ese punto, es la que representa la granulometría del producto.

El proceso admite la opción inversa y así si se desea conocer la regulación necesaria (mm de abertura) para obtener una determinada granulometría, definida por ejemplo por su  $d_{80}$ , se debe proceder. Para ello se entra en ordenadas con el valor deseado (p.e. 15 mm) hasta llegar a la abscisa correspondiente al 80 y la curva que pasa por este punto de intersección es la correspondiente a ese material. Ahora se obtiene la regulación entrando nuevamente con el valor del porcentaje de paso correspondiente a ese material (p.e. 65%) y obtener en ordenadas el valor correspondiente a la regulación.

En el gráfico siguiente correspondiente a trituradoras de cono los ejes están cambiados pero el procedimiento es el mismo indicado.



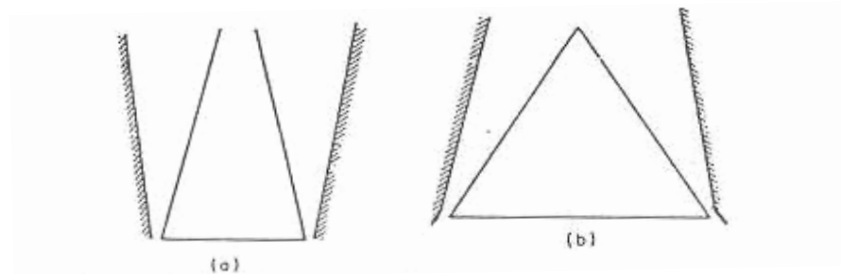
**Figura 7.20.** Familias de curvas granulométricas para trituradoras de cono.

**Ejemplo de cálculo.** Para una trituradora de cono Symons estándar, calcular con las curvas anteriores la regulación necesaria, triturando caliza, para obtener un  $d_{80}$  de 13 mm. Considerar que para el material, caliza, el paso por una malla cuadrada igual a la regulación es del 60 al 70% según la dureza medida por el índice de Bond, o bien el tipo de cámara.

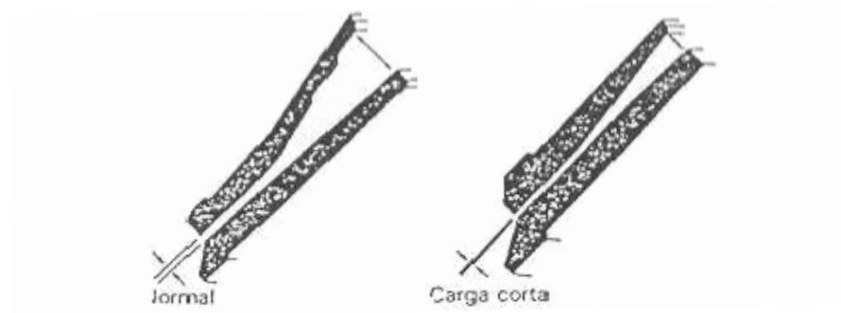
**Sistemática.** Para un valor de 80 en ordenadas, se corta a la abscisa de 13 mm, y se obtiene la 4ª curva por la izquierda. Se entra nuevamente con el valor de 60 en la curva ya identificada y se obtiene en abscisas el valor de 9 mm que corresponde a la regulación.

En la selección de un equipo es necesario verificar, además de lo anterior, la capacidad para absorber los tamaños máximos que junto con el diseño del circuito, abierto normalmente en trituración primaria, y abierto o cerrado para los demás escalones de la trituración, con preferencia circuitos cerrados, definen el equipo principal.

Para la trituración secundaria y terciaria, cuando los volúmenes a procesar son elevados, es aconsejable por disponibilidad y economía trabajar con más de una unidad de conos y en circuito cerrado para evitar la sobre fragmentación. En circuito cerrado, el equipo se regula a un tamaño de salida superior al deseado y mediante criba se clasifica al tamaño requerido. La alimentación para material ya tratado, va a la criba, y el rechazo de la criba vuelve a los conos.



**Figura 7.21.** Formas de cabeza y tazón de la trituradora giratoria (a) y de cono (b).



**Figura 7.22.** Revestimientos de la trituradora de cono estándar y de cabeza corta.

La figura muestra la diferencia en la descarga entre las trituradoras giratorias y los conos trituradores, razón esta por la que se mide la en posición abierta y cerrada respectivamente, el tamaño máximo de salida. En las trituradoras de cono, el material sufre, al menos una compresión en el canal de descarga y en las giratorias primarias es posible la salida en la posición abierta.



Conos Symons													
Dimensión del triturador (*)	Abertura de admisión (mm)	Capacidad para rocas de densidad aparente 1,6 en t/h para los reglajes siguientes en posición cerrada (mm)							Velocidad de rotación	Potencia		Peso	
		6,3	12,7	19	25	38	50	65		r.p.m.	CV		kW
Cono estandar	2	57 a 82	13	22	32	41	54			575	25 - 30	18 - 22	4,5
	3	98 a 130		36	63	72	81	86		580	50 - 60	37 - 44	9,5
	4	127 a 187		72	108	135	160	176		485	75 - 100	55-74	15,9
	5,5	181 a 251			180	250	310	340	410	485	150 - 200	110 - 147	37,6
	7	254 a 343			300	410	540	720	810	435	250 - 300	184 - 221	63,5

(\*)  $\Phi$  del cono a la salida en pies de 305 mm.

Conos Symons													
Dimensión del triturador (*)	Abertura de admisión (mm)	Reglajes en posición cerrada (mm)							Velocidad de rotación	Potencia		Peso	
		3,1	4,7	6,3	9,5	12,7	15,8	19		r.p.m.	CV		kW
Cono de cabeza corta	2	35 a 50	5	7	9	13	18			575	25 - 30	18 - 22	4,7
	3	41 a 76	13	18	27	36	45	55		580	60 - 75	44 - 55	9,7
	4	63 a 101	18	32	45	70	90	115		485	100 - 150	74 - 110	20
	5,5	70 a 133		60	90	120	160	190	220	485	150 - 200	110 - 147	39
	7	95 a 178		110	135	215	270	325	380	435	250 - 300	184 - 221	68

(\*)  $\Phi$  del cono a la salida en pies de 305 mm.

Hidroconos														
Dimensión del triturador (*)	Abertura de admisión (mm)	Excentricidad	Capacidad, para rocas de densidad aparente 1,6 t/m <sup>3</sup> , en t/h para los reglajes siguientes en posición cerrada (mm)							Velocidad de rotación	Potencia		Peso	
			mm	3	6	10	16	25	44		63	r.p.m.		CV
22	F	25	13	9	11	15					425	35	26	2,7
	M	50	6 10 13	6 - -	7 12 17	- - 20					425	25 30 35	18 22 26	
	G	75	6 10 13		13 - -	14 20 -	16 26 34	19 32 40			425	25 30 35	18 22 26	
36	F	50	13 19 22	18 - -	27 32 36	- 41 45	- - 63				350	70 125 125	52 92 92	9,3
	M	100	10 13 19		24 34 -	- 36 56					350	60 70 125	44 52 92	
	G	150	8 10 13 19			34 40 -	37 45 60 -	40 50 63 106	4 53 67 129		350	50 60 70	37 44 52	
51	F	90	13 19 25 32		36 50 68 -	50 63 82 95	- - 111 129				290	90 140 200 220	66 103 147 162	22
	M	150	13 19 25 32		63 - - -	66 99 - -	72 113 139 167	83 132 158 212			290	90 140 200 220	66 103 147 162	
	G	250	13 19 25 32				82 - - -	92 151 212 -	- - 245 302	- - -	290	90 140 200 220	66 103 147 162	
84	F	125	19 25 38 51		110 135 - -	- 140 225 -	- - - 360				200	250 300 400 500	184 221 294 368	67
	M	250	19 25 38 51			167 - - -	180 257 - -	189 279 414 590	- - - 662		200	250 300 400 500	184 221 294 368	
	G	430	25 38 51					396 - -	430 639 -	- 693 945	200	300 400 500	221 294 368	

(\*)  $\Phi$  del cono a la salida en pulgadas de 25,4 mm.

F: Cámara para trituración fina. Tiene una zona en salida que tiene las mandíbulas sensiblemente paralelas.

M: Cámara de trituración intermedia.

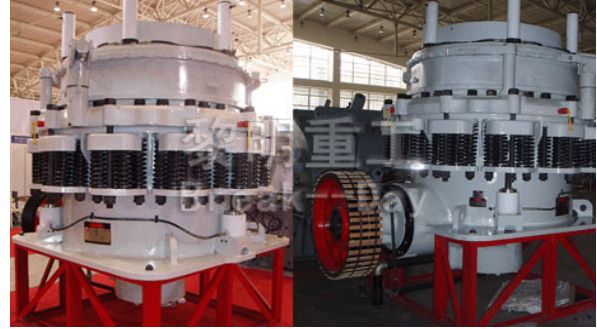
G: Cámara de trituración gruesa.

### Folleto fabricante: Trituradora de Cono

Los trituradores de cono se utilizan para trituración de material mediano, semi-duro y extremadamente duro, con una elevada exigencia de fragmentación y capacidades altas de producción

Comparada con trituradoras de mandíbula, la trituradora de cono tiene las características de estructura estable, alto rendimiento, fácil ajuste y, normalmente, un uso más económico y continuo.

Los trituradores de cono proyectadas especialmente para todas las aplicaciones de trituración primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. El tipo de cámara de trituración depende del tamaño de la alimentación y la finura del producto final.



### Especificaciones de la Trituradora de Cono

Modelo	Máximo grano de entrada (mm)	Campo de descarga (mm)	Capacidad (t/h)	Potencia (kW)	Peso (t)	Dimensiones de Caja (mm)
PYB	600	65	12-25	30	5	2.800 x 1.300 x 1.700
PYD		35	3-15		5,5	
PYB	900	115	15-50	55	10,2	3.050 x 1.640 x 2.350
PYZ		60	5-20		10,2	
PYD		40	3-13		10,3	
PYB	1.200	145	20-50	110	24,7	4.152 x 2.300 x 2.980
PYZ		100	8-26		25	
PYD		50	3-15		25,6	
PYB	1.750	215	25-60	160	50,3	4.870 x 3.800 x 4.192
PYZ		185	10-30		50,3	
PYD		85	5-15		50,4	
PYB	2.200	300	30-60	260-280	80	7.705 x 3.430 x 4.852
PYZ		230	10-30		80	
PYD		100	5-15		81,4	

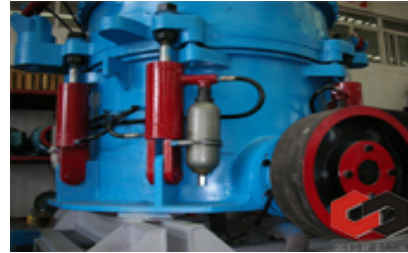
Parámetro de Funcionamiento - e-mail: [webmaster@zenithdream.com](mailto:webmaster@zenithdream.com)

Modelo	Díámetro lezna circular (mm)	Alimentación máximo (mm)	Abertura de descarga (mm)	Capacidad (t/h)	Potencia (kW)	Velocidad eje (r/min)	Peso (t)
PYB	600	600	65	15-25	40	30	5
PYD		35	3-13	12-23	5,5		
PYB	900	900	115	15-30	50-90	55	11,2
PYZ		60	5-20	30-65	11,2		
PYD		50	3-13	15-50	11,3		
PYB	1.200	1.200	145	20-50	110-168	110	24,7
PYZ		100	8-25	42-135	25		
PYD		50	3-15	18-105	25,3		
PYB	1.750	1.750	215	25-50	280-480	160	50,3
PYZ		185	10-30	115-320	50,3		
PYD		85	5-13	75-230	50,2		
PYB	2.200	2.200	300	30-60	59-1000	280-260	80
PYZ		230	10-30	200-580	80		
PYD		100	5-15	120-340	81,4		

### Folleto fabricante: Trituradora de Cono Hidráulica

#### Característica y superioridad técnica de la Trituradora de Cono Hidráulica

1. Gran índice de reducción, eficiente productividad.
2. Menor desgaste, gastos bajo de mantenimiento, funcionamiento seguro, todas las piezas de antifricción.
3. La trituración de laminación, gránulo de producto final es excelente.
4. Preservación hidráulica y limpieza hidráulica, alto nivel de automatización, disminuye los tiempos de parada.
5. Mayor duración de la máquina por diseño fino de la lubricación.
7. Mantenimiento sencillo y cómodo. Buena productividad.



Modelo	Tamaño de alimentación(mm)	Tamaño mínimo de descarga(mm)	Capacidad (t/h)	Potencia (KW)	Peso (t)
HPC-160	150	13	120 - 240	160	13
	76	6	55 - 180		
HPC-220	225	13	150 - 430	220	18
	86	6	90 - 260		
HPC-315	290	13	190 - 610	315	26
	100	6	108 - 320		
HPC-400	320	13	230 - 700	400	33
	110	6	145 - 430		

**Nota:** La capacidad de producción está relacionada con las características físicas de los materiales, forma de la alimentación, granulación de entrada, composición, etc.

#### **Puntos que requieren la atención de la Trituradora de Cono Hidráulica:**

Los factores siguientes elevan la capacidad de producción de la trituradora de cono hidráulica:

- Según los materiales y selecciona la cavidad de trituración.
- Razón de tamaño de salida apropiada.
- En el ámbito de la cavidad 360° que la alimentación se distribuye uniforme.
- Instalaciones de control automático.
- La parte de descarga esté libre.
- La especificación de la cinta de transporte se adapte a la capacidad máxima de tratamiento de la trituradora.
- Selecciona la especificación del cernidor adecuadamente.

#### **Los factores siguientes rebajan la capacidad de producción de la trituradora de cono hidráulica:**

- Entre la alimentación, los materiales finos sobrepasan el 10% de la capacidad de producción.
- Tiene materiales viscosos en la alimentación.
- Falta de control de la alimentación.
- Alimentación que cerca de la cavidad de trituración se distribuye sin uniformidad.
- No usa la potencia recomendada.
- La capacidad de la tamización del sistema es insuficiente.
- La parte de descarga de la trituradora esta estorbada.
- Los materiales son demasiado duros o demasiado tenaces(resistentes a la fragmentación).

email: [webmaster@zenithdream.com](mailto:webmaster@zenithdream.com)

### Comparación entre equipos de trituradoras giratorias, primarias y conos

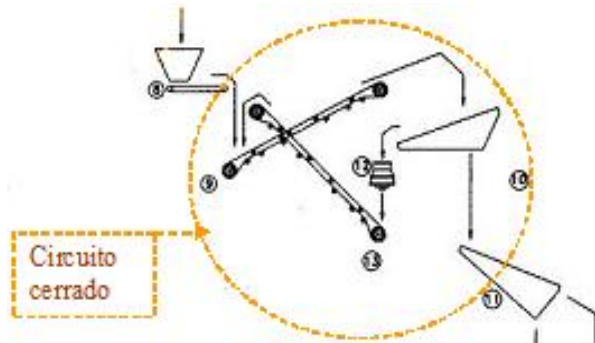
Concepto	Trituradoras giratorias primarias (TGP)	Conos trituradores (Conos)
<b>Sistema de carga</b>	Directo a la cámara.	Plato distribuidor en la parte superior del eje principal.
<b>Forma de los conos</b>	Son de sentido contrario, (ángulos opuestos).	Son del mismo sentido (ángulo del mismo sentido).
<b>Fuerza dominante</b>	Compresión y de menor efecto la abrasión.	Compresión y efecto abrasión, mayor desgaste.
<b>Funcionamiento de la cámara</b>	Llenado parcial, continuo o alterno según proceso minero.	A cámara llena.
<b>Forma de trabajo</b>	Discontinua para los materiales y continua para la producción.	Discontinua para los materiales y continúa para la producción.
<b>Materiales</b>	Normal.	Sensibles a los materiales húmedos y pegajosos. Tiene un ángulo pequeño (41°-50°).
<b>Circulación del material</b>	Por gravedad.	Por gravedad y por el efecto de la agitación y velocidad mayor.
<b>Punto de oscilación</b>	Punto de anclaje del cono móvil en la parte superior.	El punto de oscilación de los conos es el centro de la esfera del palier o cojinete esférico.
<b>Tensiones en el equipo</b>	Se compensan con un sistema hidráulico que eleva el eje de la mandíbula móvil.	Hay fuertes empujes entre el cono móvil y el fijo, que se compensan: bien por un sistema de muelles en los conos mecánicos (eleva la mandíbula fija) o por un sistema de presión de aceite en los hidroconos (desciende la mandíbula móvil). Suspensión mecánica o hidráulica.
<b>Velocidad de rotación</b>	Normal, la correspondiente al desplazamiento.	Mayor, 400-600 r.p.m.
<b>Excentricidad</b>	Según regulación, menor.	Mayor excentricidad.
<b>Circulación de los materiales</b>	Por gravedad.	Mayor agitación por velocidad y excentricidad, que compensa la menor inclinación y facilita el avance del material.
<b>Descarga</b>	Por gravedad con un plano inclinado.	Por gravedad.
<b>Sistema anti-intriturbables</b>	Mecánico o hidráulico.	Mecánico o hidráulico.
<b>Sistema de reglaje</b>	Mecánico, regulando la tuerca superior o hidráulico mediante émbolo inferior.	Mecánico, se eleva el cono fijo o hidráulico, descende el cono móvil (sobre aceite).
<b>Reglaje</b>	En posición abierta.	En posición cerrada, por la velocidad de giro y la longitud de la descarga.
<b>Relación de reducción</b>	10-12 ó 6-8.	6-8 ó 2-3.
<b>Calidad del producto</b>	Normal.	Mejor control del tamaño de salida.
<b>Comparación con trituradora Blake</b>	Mayor capacidad a igualdad de boca de carga. Más cara.	Producto más regular, trabajan en escalones diferentes de la trituración.

**Ejemplo de utilización de las curvas granulométricas**

**Circuito cerrado:** Se tritura en una cantera una caliza mediante un cono Symons, trabajando en el escalón de la trituration secundaria. Para aumentar el rendimiento, y limitar los tamaños pequeños, la sobre fragmentación, se diseña un circuito cerrado con una criba vibrante. El mineral, que proviene de una trituration primaria, alimenta a la criba.

La criba corta a 20 mm, tamiz UNE 7050 de 20 mm, y la regulación del cono se dispone un 50% superior (30 mm).

Interesa conocer la carga circulante del circuito y el porcentaje que representa los tamaños comprendidos entre 1 y 2 cm.



Se conocen las curvas granulométricas para los conos y la información básica para la fragmentación correspondiente a la caliza.

Índice de Bond para caliza normal:

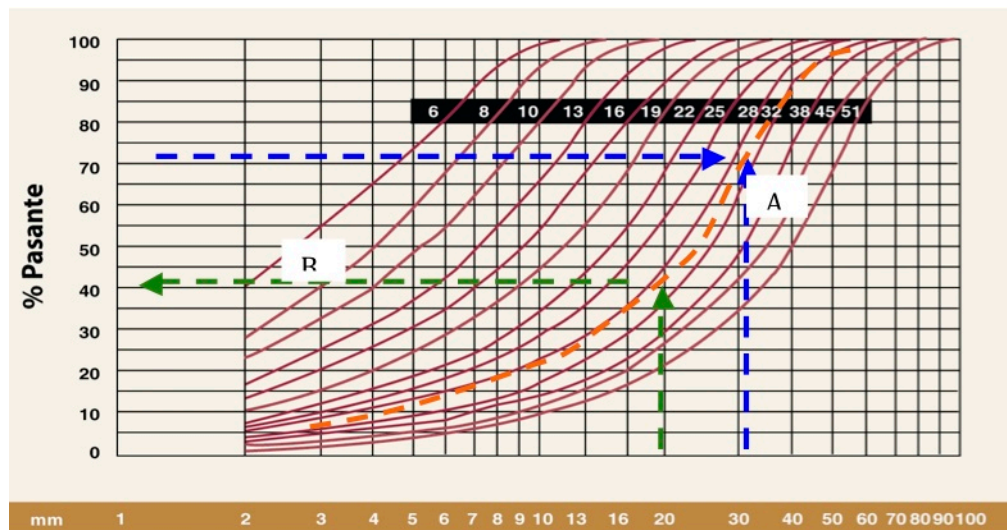
Wi (kWh/t): 12,5;

Densidad (t/m<sup>3</sup>): 2,65.

El porcentaje de paso por una malla cuadrada igual a la regulación, para Wi < 13, es del 70%.

Para una regulación de 30 mm y 70% de paso, corresponde la curva 29 (entre 28 y 32 para d80) que es la curva granulométrica de trabajo del cono, proceso A del gráfico.

Para 20 mm, corte de la criba, el porcentaje de paso en la curva seleccionada anteriormente es aproximadamente del 44% (algo inferior a 45%), proceso B del gráfico.



**Figura 7.23.** Familias de curvas granulométricas para trituradoras de cono.

El material de tamaño inferior a 20 mm que produce el cono triturador es el 44% de la producción del equipo, luego el 56% será rechazo en la criba. Si se considera el circuito equilibrado, la alimentación es igual a la descarga o pasante en la criba, esta es la producción del circuito, 44 sobre 100 que procesa el cono, luego la carga circulante es el rechazo del cono más la alimentación al circuito  $(100 - 44) + 44 = 100$  y en porcentaje con respecto a la alimentación, definición de carga circulante  $C_c = 100 \cdot R / A \rightarrow 100 \cdot (56 + 44) / 44 = 227,3\%$ .

Nota técnica, ver capítulo IV

En un circuito del tipo clasificador-fragmentador como el utilizado (CI-F) con criba previa para eliminar los finos y evitar la sobre-fragmentación, la carga circulante se obtiene mediante la expresión siguiente:

La carga circulante será:

$$Cc(CL - F) = \frac{R}{A} \frac{\rho_j - a_j}{b_j - r_j}$$

Supuesto un funcionamiento ideal para la criba, ( $r_j = 0$ , y  $\rho_j = 1$ ) la expresión se reduce a:

$$Cc(CL - F) = (1 - a_j) / b_j = 1 / b_j - a_j / b_j$$

La incorporación de una criba previa para eliminar los finos de la alimentación supone  $a_j = 0$ , no existe material menor que el tamaño de corte en la alimentación al circuito cerrado de trituración, y la expresión se reduce a:

$$Cc = 1 / b_j, \text{ que es la utilizada en el ejercicio anterior.}$$

La carga circulante, con finos no eliminados en la alimentación (sin criba previa), será en todo momento inferior a la considerada en el ejercicio, en la proporción  $(-a_j / b_j)$ .

El material de tamaño comprendido entre 10 mm y 20 mm, pasante en la criba, es el producido por el cono es este intervalo y se deduce igualmente de las curvas granulométricas por el procedimiento siguiente:

Material inferior a 10 mm, curva ya definida anteriormente, 21%.

Material inferior a 20 mm, misma curva, 44%.

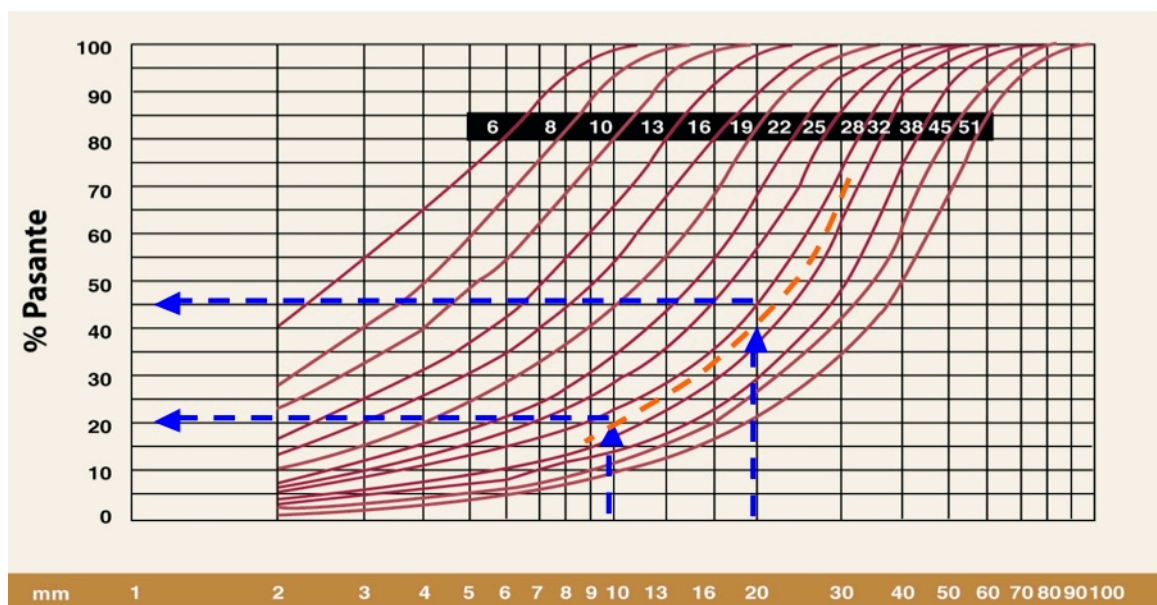


Figura 7.24. Familias de curvas granulométricas para trituradoras de cono.

El material entre ambos cortes es el  $44 - 21 = 23\%$  de la producción del cono, pero como el pasante por la criba es el  $44\%$  de la producción del cono, dentro del producto cribado, el material comprendido entre 10 y 20 mm representa el  $23 / 44 = 0,523$  (52,3%).

En la **solución real** hay que añadir la parte de los finos que vienen con la alimentación, ya que al alimentar a la criba, los finos no pasan por el cono triturador y en un caso real es obligado considerar la eficacia de la criba que siempre es inferior a la unidad. Si suponemos un 10% de finos en la alimentación (tamaños menores de 20 m) y una eficacia<sup>15</sup> del 88% en la criba, los valores anteriores se modifican en el sentido:

<sup>15</sup> Medida aquí como la relación entre el material que ha pasado y el que realmente debería pasar en el caso ideal, todo el material menor que el punto de corte.

Tamaños menores de 20 mm, corte de la criba: 44% de la producción del cono.

Tamaños menores de 20 mm pasantes en la criba procedentes del cono:  $44 \cdot 0,88 = 38,7$ .

Tamaños inferiores de 20 mm procedentes de la alimentación:  $44 \cdot 0,1 = 4,4$  (al desconocer la curva de tamaños suponemos que todo lo menor, por simplicidad, pasa por la criba).

Rechazo de la criba para la producción del cono:  $100 - 38,7 = 61,3$ .

Carga circulante:  $(61,3 + 44 \cdot 0,9) / (38,7 + 44 \cdot 0,1) = (234\%)$ .

El aumento de la carga circulante puede necesitar modificar el tamaño del cono para absorber el diferente tonelaje tratado y que corresponde:  $Tr = A \cdot 2,34$  frente al anterior, teórico, que corresponde a:  $Tt = A \cdot 2,27$  [El aumento de la carga circulante por la eficiencia, menor de uno, de la criba, es  $\Delta T = A \cdot (2,34 - 2,27)$ ].

El efecto de la criba elimina y perjudica, en cálculo, el efecto positivo de los menores del tamaño de corte en la alimentación tal como indica la formulación<sup>16</sup>.

La producción en el segmento 10-20 mm se modifica por el 10% de finos en la alimentación que van directamente<sup>17</sup> al pasante de la criba, este valor también se ve afectado por el efecto de la eficiencia de la criba, y es necesario conocer cual es su granulometría, dependiente del equipo anterior que trata el producto.

**Circuito abierto:** Se considera ahora el trabajo del cono para dar una producción inferior a 20 mm (punto de corte calculado anteriormente en la criba, no existen tamaños mayores de este valor en la producción con el circuito cerrado anterior, excepción hecha de avería o rotura de malla).

El sistema de producción en circuito abierto para dar un tamaño máximo de 20 mm debe tener una curva granulométrica en la que el  $D_{max} = 20$  mm o lo que es lo mismo, que el 100% de la producción del cono debe pasar por la malla de 20 mm.

Con la ordenada 100% y la abscisa de 20 mm se define la curva de trabajo, esta corresponde aproximadamente a la curva del  $d_{80}$  de valor 10. Para esta curva, entrando con el valor del 70%, correspondiente al paso de la caliza triturada por una malla cuadrada igual a la regulación, obtenemos el valor aproximado de 8 mm que es la regulación que se debe poner en la máquina.

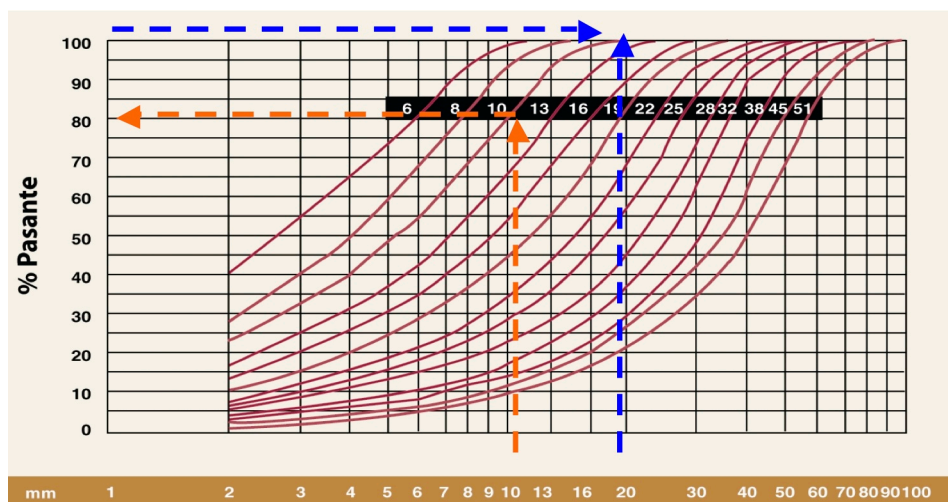


Figura 7.25. Familias de curvas granulométricas para trituradoras de cono.

<sup>16</sup> El cálculo se debe afinar con un sistema de cálculo reiterado. En esta primera aproximación partimos de una producción de 44 (base de corte por la producción del cono en el tamaño de 20 mm) y resulta una producción de 43,1 al final de la primera iteración.

<sup>17</sup> A la cantidad de finos de la alimentación también le afecta la calidad del cribado, se debe afectar por la eficacia de cribado (aproximadamente  $0,1 \cdot 0,88$ ).



Igualmente, para esta curva y la regulación de 8 mm en el cono, el valor en ordenadas para 10 mm de tamaño de paso (se busca la fracción entre 10 mm y 20 mm) es de 80% aproximadamente. Luego se tiene el resumen siguiente:

Regulación del cono: 8 mm.

Fracción mayor, tamaño máximo de paso: 20 mm.

Fracción de paso para 20 mm: 100%.

Fracción para tamaño de 10 mm: 80%.

Porcentaje de la fracción 10-20 mm en el producto: 20%.

Comparando este resultado con el obtenido anteriormente para un circuito cerrado, 52,3% de la producción del circuito de trituración, se ve claramente la ventaja del trabajo en circuito cerrado frente al circuito abierto.

Se indica que el cono, al tener que trabajar con la carga circulante del rechazo de la criba, debe ser distinto que en el circuito cerrado, no necesariamente mayor ya que esto depende del tipo de funcionamiento y de lo que se exige al cono como se ve posteriormente en el ejemplo planteado. La decisión final es el resultado de un estudio técnico-económico.

### Ejercicio

Cálculo del tamaño del triturador, tipo cono Symons, necesario para la explotación.

Calcular la dimensión del cono Symons necesario para el tratamiento de un material, caliza, en las condiciones anteriores y con la condición de clasificar el material entre 10 y 20 mm como producto principal. Se considera el trabajo durante un turno de 8 horas, disponibilidad del 100%, y una necesidad de producción de 50 t/h en el segmento indicado de 10-20 mm.

#### A) Opción de circuito abierto

Producción del segmento 10-20 mm: 50t/h, dato.

Fracción de la producción del cono en 10-20 mm: 20% del material tratado.

Cantidad de material a tratar:  $50 / 0,2 = 250$  t/h.

Equipo válido según catalogo que se adjunta en información del capítulo:

- Modelo seleccionado: 2.200, tipo: PYD ó PYZ según fabricante (pág 42. Tamaño máximo de alimentación: 100 mm (admite los 60 mm previstos, ver cálculo de potencia).
- Regulación de descarga: 5-15 mm (admite los 8 mm calculados).
- Capacidad: 120-340 t/h (por prorrateo da 186 t/h para 8 mm, parece insuficiente).
- Potencia motor: 280-260 kW.
- Potencia del motor calculado para la operación: es necesario disponer del  $D_{80}$  y  $d_{80}$  para aplicar la fórmula de Bond, pero se supone que trabaja con una relación normal para el equipo y así, el  $d_{80}$ , de la curva granulométrica es de 10 mm, luego para un trabajo estandar,  $R_r = 6$ , el  $D_{80}$  adecuado para la alimentación es de 60 mm. Con esta opción se aprovecha la capacidad de la máquina correctamente.
- La potencia calculada para el proceso mediante la expresión de Bond es:

$$W_B = 10 \cdot W_i \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \quad ; \quad P(kW) = W_B (kW h / t) \cdot T(t / h) \cdot F_s(1,3)$$

$W_B =$	0,740	$P(kW) =$	240,4
---------	-------	-----------	-------

La potencia es admisible para el modelo seleccionado:

- Velocidad de giro: 220 r.p.m.
- Peso del equipo: 81,4 t.

### B) Opción de circuito cerrado

Producción del segmento 10-20 mm: 50t/h, dato.

Fracción de la producción del circuito cerrado, pasante en la criba, en el rango de 10-20mm: 52,3% del material alimentado, circuito equilibrado (Producción = Alimentación).

Cantidad de material a tratar por el cono triturador:

Alimentación (A):  $50 / 0,523 = 95,6$  t/h; considerando la carga circulante del circuito cerrado, el triturador debe admitir:

$$Q(t/h) = A \cdot C_c / 100 = (50 / 0,523) \cdot (2,273) = 217,3 \text{ t/h; solución teórica.}$$

$$Q(t/h) = (50 / 0,523) \cdot (2,34) = 223,7 \text{ t/h; solución real.}$$

Equipo válido según catalogo que se adjunta en información del capítulo:

- Se considera la opción más desfavorable en cálculo de  $C_c = 223,7$  t/h, más la descarga directa al cono,  $A = 95,6$  t/h, total 319,3 t/h.
- La regulación que debe admitir el cono es de 30 mm, ver apartado anterior correspondiente a circuito cerrado.
- Modelo seleccionado: 1.750, tipo: PYB (ver catálogo, pág. 42).
- Tamaño máximo de alimentación: 215 mm (admite los 60 mm, ver apartado anterior).
- Regulación de descarga: 25-60 mm (admite los 30 mm del circuito cerrado).
- Capacidad: 280-480 t/h (por prorrateo da 347 t/h para 30 mm, parece suficiente).
- Potencia motor: 160 kW.
- Potencia del motor calculado para la operación: es necesario disponer del  $D_{80}$  y  $d_{80}$  para aplicar la fórmula de Bond. Se toma el  $d_{80}$  de la curva granulométrica correspondiente al proceso, que es de 35 mm. Para el  $D_{80}$  tomamos el mismo considerado anteriormente como opción desfavorable de cálculo, es la misma alimentación, aunque realmente se modifica por el efecto de la carga circulante que es de un 227,3%, con tamaños comprendidos entre 20 mm (valor de corte en la criba) y 65 mm (valor máximo en salida del cono) se toma el valor de 60 mm igual que en el supuesto anterior.
- La potencia calculada para el proceso mediante la expresión de Bond es:

$$W_B = 10 \cdot W_i \left( \frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot \left( \frac{250}{C_c} \right)^{0,1} \quad ; \quad P(kW) = W_B (kWh / t) \cdot T(t / h) \cdot F_s(1,3)$$

Wb =	0,159	P(kW) =	65,9
------	-------	---------	------

La potencia es admisible para el modelo seleccionado:

- Velocidad de giro: 245 r.p.m.
- Peso del equipo: 50,3 t.

**Nota aclaratoria** al cuadro resumen del estudio comparativo:

En el cálculo de la capacidad del cono, y dentro de las dos opciones posibles de alimentación a la criba<sup>18</sup>, o alimentación al cono<sup>19</sup>, se ha escogido para el comparativo la opción, pesimista en coste, de alimentación al cono ya que obliga a un equipo mucho mayor, debe soportar la carga circulante más la carga debida a la alimentación en su totalidad lo que supone considerar 223,7 t/h.

<sup>18</sup> Preferible por funcionamiento. Se produce menos sobre-fragmentación aunque mayor sobrecarga en la criba.

<sup>19</sup> Deseable cuando se reciben tamaños grandes que pueden dañar la criba y provocar paradas del circuito por rotura o desgaste excesivo del tamiz.

### Resumen del estudio comparado circuito abierto/circuito cerrado

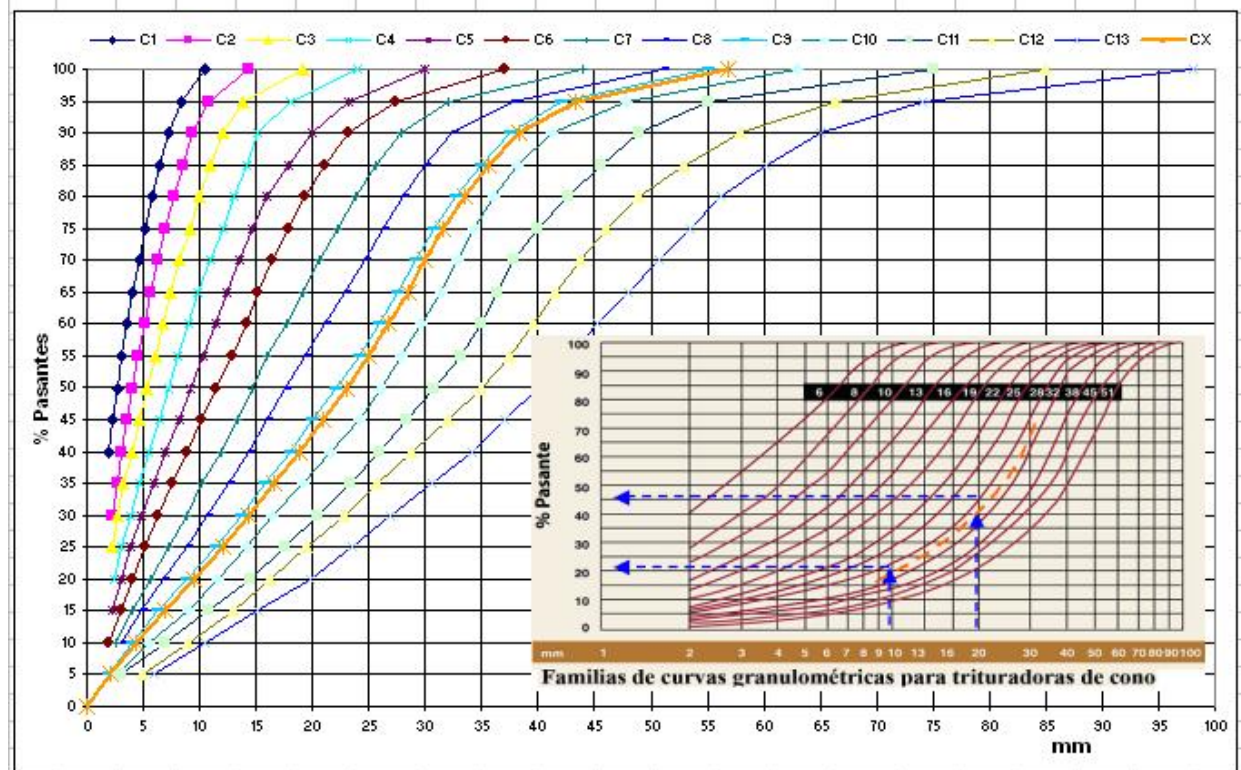
Concepto	Unidad	Circuito abierto	Circuito cerrado
Alimentación necesaria	T/h	250	95,6
D80	mm	60	60
Carga circulante	%	No tiene	227,3%
Alimentación cono Symons	t/h	250	319,3
Regulación	mm	8	30
Descarga, dmax	mm	20	65
Descarga, d80	mm	10	35
<b>Condición de diseño, producción en la fracción 10-20 mm</b>	<b>t/h</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
Producción otros tamaños	t/h	200	45,6
Modelo seleccionado	Ref.	2.200-PYD	1.750-PYB
Dmax, equipo – admite hasta	mm	100	215
Capacidad de regulación	mm	5-15	25-60
Regulación posible con el proceso	Sí / no	Sí	Sí
Capacidad	t/h	120-340	280-480
Capacidad necesaria (estimada)	t/h	186 (¿)	347
Motor – máximo	kW	260-280	160
Motor calculado	kW	240,4	65,9
Admite motor	Sí / no	Sí	Sí
Peso equipo	T	81,4	50,3
Revoluciones	r.p.m.	220	245
Economía / inversión	f(Peso Eq.)	Más cara	Más económica
Criba necesaria, corte	mm		20
Caudal	t/h		319,3
Funcionamiento	f(kW)	Más cara	Más económica
Opción técnica preferible	Sí / no	No	Sí
La máquina trabaja	Opinión	Forzada	Con margen

Cálculo de la carga circulante con un circuito de trituración del tipo CI - F				Criba Ideal (Rendimiento = 1)				
Equipo:	Criba de malla cuadrada y cono triturador							
Alimentación:	A la criba con finos precribados					Macro		
	Se eliminan los tamaños ya menores que el tamaño de corte especificado					Conos		
Criba:	Tipo:	Criba vibrante de malla cuadrada						
	Modelo:	Se supone de dimensiones suficientes para el proceso				Conos_200		
	Tamaño de corte:	20	mm					
	Rendimiento:	1	Fración, considerado sobre el tonelaje en pasantes					
	Pasante en la criba:	Pasante_teorico* Rendimiento, en tamaños menores del punto de corte						
Cono:	Tipo:	Cono Symons, fragmentador en el escalon de la trituración 2ª						
	Regulación:	50,0%	Superior al tamaño de corte en la criba					
	Regulación:	30	mm	Cálculo con límite de tamaño máximo:	<100	mm		
Material:	Cantera de caliza	Finos menores de: 20 0,0%						
	Indica de Bond:	12,5	Wi(kWh/t)					
	Densidad:	2,65	t/m³					
	Porcentaje de paso (%):	70	Paso por una malla cuadrada igual a la regulación					
<b>Solución</b>								
				La carga circulante será:	R	$p_j - a_j$		
					$C_c(CL-F) = \frac{R}{A} = \frac{p_j - a_j}{b_j - r_j}$			
				Supuesto un funcionamiento ideal para la criba, ( $r_j = 0$ , y $p_j = 1$ ) la expresión se reduce a:				
					$C_c(CL-F) = (1-a_j)/b_j = 1/b_j - a_j/b_j$			
<b>Cálculo sobre las gráficas:</b>				<b>1ª Parte</b>				
<b>A) Obtener la curva básica de funcionamiento del cono Symons</b>				% Pasante	Ref_min	Ref_max	Curva bas. auxiliar	Curva % Pasante
Curva básica de trabajo C?: C9 < CX < C10				0	0,0	0,0	0,0	0
Base de la curva: Porcentaje de paso: 70 %, para un tamaño de corte de 30 mm, igual a la regulación				5	2,0	2,7	2,2	5
				10	4,0	5,4	4,3	10
<b>B) Material inferior al punto de corte:</b>				15	6,2	9,0	6,9	15
Punto de corte = 20 mm				20	8,8	11,6	9,5	20
Material, inferior al punto de corte, producido por el cono:				25	11,4	14,1	12,0	25
				30	13,7	16,5	14,4	30
Referencia inferior:				35	15,8	19,2	16,6	35
Referencia superior:				40	18,0	21,6	18,9	40
Valor calculado (bj):				45	20,0	24,2	21,0	45
Material superior al punto de corte producido por el cono				50	22,1	26,1	23,0	50
Tamaño > (1-bj)				55	24,1	27,9	25,0	55
Material, inferior al punto de corte, en la alimentación:				60	25,9	29,6	26,8	60
aj:				65	27,5	31,4	28,4	65
Material, superior al punto de corte, en la alimentación:				70	29,1	32,9	30,0	70
(1-a) =				75	30,7	34,3	31,6	75
La alimentación viene pre-cribada. Circuito estabilizado: A = P				80	32,7	36,0	33,5	80
<b>C) Cálculo de la carga circulante</b>				85	34,9	38,1	35,7	85
Cc = 2,34 → 234,3%				90	37,5	41,3	38,4	90
<b>D) Producción del cono</b>				95	42,0	47,8	43,4	95
Tamaños menores del punto de corte producidos por el cono:				100	55,0	63,0	56,9	100
0,427 → 42,7% de la producción del cono								56,9
<b>E) Material producido entre 2 valores:</b> 20,0 mm ← datos correcto → 10,0 mm								
					mm	%		
Referencia inferior:					9,5	20		
Referencia superior:					12,0	25		
Valor calculado (bj):					10,0	21,0		
Valor entre ambos cortes:					21,6	%		
Porcentaje de producción, del circuito, entre corte							50,7	%
<b>F) Calcular el d<sub>90</sub> en los productos obtenidos</b>				Valor obtenido, en la curva CX, para d <sub>90</sub>	33,5	mm		

<b>G)</b>	Calcular el motor necesario para procesar <b>65</b> t/h. Considerar un $D_{80}$ en la alimentación de: <b>200,9</b> mm					
	Se ha considerado una $R_r$ de <b>6</b> y un $D_{max}$ , mediante cálculo estimado <b>341,4</b> mm					
	$P(kW) =$ <b>98,5</b> Entre <b>90</b> <b>120</b> kW, Se calcula con la fórmula de Bond y un Factor de seguridad: <b>1,6-1,3</b>					
	Para el cicuto CI-F se tiene $P(kW) = W_B (kWh/t) \cdot T (t/h) \cdot Cc \cdot Fs ; W_B = 10 \cdot W_i \left( \frac{1}{\sqrt{d_{30}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{30}}} \right)$					
<b>2ª Parte</b>	Obtener los valores de trabajo para producir (condición base de diseño) un tonelaje determinado entre dos rangos de tamaños prefijados. Se escoge el tamaño de corte, en el clasificador, con un valor igual al mayor de los valores indicados.					
<b>H)</b>	Se necesita producir $T_2$ <b>50</b> t/h entre los cortes de tamaño <b>20,0</b> mm y <b>10</b> mm					
<b>H1)</b>	Producción del cono para el corte mayor de <b>20,0</b> mm, y para el corte menor de <b>10</b> mm					
		mm	%	mm	%	
	Referencia inferior:	18,9	40	Referencia inferior:	9,5	20
	Referencia superior:	21,0	45	Referencia superior:	12,0	25
	Valor calculado (bj):	<b>20,0</b>	<b>42,7</b>	Valor calculado (bj):	<b>10,0</b>	<b>21,0</b>
	Valor entre ambos cortes:	21,6 %		Porcentaje de producción entre cortes:	<b>50,7</b> %	
<b>H2)</b>	Caudal de alimentación necesario para que el <b>50,7</b> % esté entre los tamaños prefijados					
	$A = T_2 / Por_{prod} =$ <b>98,6</b> t/h					
<b>H3)</b>	Potencia necesaria del motor para la operación descrita	Se considera un $D_{80}$ en la alimentación igual al supuesto anterior				
	$P(kW) =$ <b>149,5</b> Entre <b>140</b> <b>190</b> kW, para un $F_s$ de <b>1,6</b>					
<b>nota:</b>	Se debe verificar si el equipo, capaz de procesar <b>65</b> t/h del primer supuesto, es capaz de soportar las exigencias debidas a las nuevas condiciones. Potencia admisible, capacidad de tratamiento, regulación, etc.					

Cálculo de la carga circulante con un circuito de trituración del tipo CI - F				Criba real (Rendimiento < 1)		
Equipo:	Criba de malla no-cuadrada y cono triturador Permite el paso de tamaños mayores al punto de corte					
Alimentación:	A la criba, <b>con finos</b> menores del punto de corte <b>15,0%</b> No se eliminan los tamaños ya menores que el tamaño de corte especificado					
Criba:	Tipo: Criba vibrante inclinada de malla no cuadrada o un clasificador					
Modelo:	Se supone de dimensiones suficientes para el proceso					
Tamaño de corte	20	mm				
Rendimiento:	0,92	Fracción; considerado sobre el tonelaje "ideal" en pasantes				
Pasante en la criba =	Pasante_teórico* Rendimiento (en finos), más Pas_teórico * (1-rend) en gruesos					
Cono:	Tipo: Cono Symons, fragmentador en el escalon de la trituración 2ª					
Regulación:	50,0%	Superior al tamaño de corte en la criba				
Regulación:	30	mm	Cálculo con límite de tamaño máximo: <b>&lt;100</b> mm			
Material:	Cantera de caliza Finos menores de: 20 15,0%					
Índice de Bond:	12,5	W <sub>i</sub> (kWh/t)		Tipo	Índice de Bond / W <sub>i</sub>	
Densidad:	2,65	t/m <sup>3</sup>			% de paso, malla cuadrada	
Porcentaje de paso (%):	70	Paso por una malla cuadrada igual a la regulación			Cono Symons	< 13 > 6 = 13 70 60
<b>Solución</b>						
			La carga circulante será: R p <sub>j</sub> - a <sub>j</sub>			
			$C_c(CL-F) = \frac{R}{A} = \frac{p_j - a_j}{b_j - r_j}$			
Supuesto un funcionamiento ideal para la criba, (r <sub>1</sub> = 0, y p <sub>1</sub> = 1)						
la expresión se reduce a:						
$C_c(CI-F) = (1-a_1)/b_1 = 1/ b_1 - a_1/b_1$						
<b>Cálculo sobre las gráficas:</b>						
<b>A) Obtener la curva básica de funcionamiento del cono Symons</b>						
Curva básica de trabajo C?:	C9	< CX <	C10	% Pasante	Ref_min Ref_max Curva bas Curva auxiliar	
Base de la curva: Porcentaje de paso:	70	%	para un tamaño	0	0,0 0,0 0,0 0,0	
de corte de	30	mm	igual a la regulación	5	2,0 2,7 2,2 0,0	
<b>B) Material inferior al punto de corte:</b>						
Punto de corte =	20	mm		10	4,0 5,4 4,3 2,2	
Material, inferior al punto de corte, producido por el cono:						
		mm	%	15	6,2 9,0 6,9 4,3	
Referencia inferior:	18,9	40		20	8,8 11,6 9,5 6,9	
Referencia superior:	21,0	45		25	11,4 14,1 12,0 9,5	
Valor calculado (b <sub>j</sub> ):	20,0	42,7	0,427	30	13,7 16,5 14,4 12,0	
Material superior al punto de corte producido por el cono						
Tamaño > (1-b <sub>j</sub> )	20,0	57,3	0,573	35	15,8 19,2 16,6 14,4	
Material, inferior al punto de corte, en la alimentación:						
a <sub>1</sub> (dato):	15,0%	0,150		40	18,0 21,6 18,9 16,6	
Material, superior al punto de corte, en la alimentación:						
(1-a <sub>1</sub> ) =	85,0%	0,850		45	20,0 24,2 21,0 18,9	
Circuito estabilizado: A = P						
<b>C) Cálculo de la carga circulante</b>						
r <sub>j</sub>	C <sub>c</sub>	r <sub>j</sub> calculo	C <sub>c</sub>	Calculo con C <sub>c</sub> (CL-F)=	80 85 90 95 100	
1º Cálculo	0,08	sin dato	---	2,22	32,7 34,9 36,0 33,5 35,7	
1º iteración	0,08	2,22	0,0154	1,87	37,5 38,1 38,4 35,7 35,9	
2º iteración	0,08	1,87	0,0182	1,88	41,3 41,3 43,4 38,4 38,4	
3º iteración	0,08	1,88	0,0181	1,88	47,8 47,8 56,9 43,4 43,4	
4º iteración	0,08	1,88	0,0181	1,88	55,0 55,0 56,9 56,9 56,9	
<b>D) Material producido entre 2 valores:</b> 20,0 mm ← datos correcto → 10 mm						
	mm	%		mm	%	
Referencia inferior:	18,9	40		9,5	20	
Referencia superior:	21,0	45		12,0	25	
Valor calculado (b <sub>j</sub> ):	20,0	42,7		10,0	21,0	
Valor entre ambos cortes:	21,6 %		Porcentaje de producción entre cortes:	46,6% (*)		
(*)Afectado por el efecto del rendimiento en la criba de manera lineal %Prod=[(Valor_cortes / Producción_cono)]*rend						

														Datos Base	% Paso: 70	Regulación: 30		
<b>Familia de curvas granulométricas para trituradoras de cono</b>																		
Cálculo con límite de tamaño máximo: < 100 mm																		
	Tamaño, en mm, para las diferentes curvas granulométricas													% Pasante	Ref_min	Ref_max	Curva base	% Pasante
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13					
0														0	0,0	0,0	0,0	0
5								2,0	2,7	3,0	5,0	6,0		5	2,0	2,7	2,2	5
10						2,0	2,5	3,0	4,0	5,4	7,0	9,0	10,5	10	4,0	5,4	4,3	10
15					2,3	3,0	4,1	4,9	6,2	9,0	10,8	13,0	15,2	15	6,2	9,0	6,9	15
20				2,4	3,0	4,0	5,6	6,7	8,8	11,6	14,5	16,2	19,8	20	8,8	11,6	9,5	20
25			2,3	3,0	3,8	5,1	7,3	8,8	11,4	14,1	17,6	19,5	23,5	25	11,4	14,1	12,0	25
30		2,2	2,7	3,8	4,9	6,3	8,8	10,6	13,7	16,5	20,5	22,8	26,9	30	13,7	16,5	14,4	30
35		2,8	3,3	4,6	5,9	7,6	10,2	12,6	15,8	19,2	23,3	25,8	30,6	35	15,8	19,2	16,6	35
40	2,0	3,0	4,0	5,4	7,0	8,8	11,9	14,4	18,0	21,6	26,0	28,9	34,1	40	18,0	21,6	18,9	40
45	2,3	3,6	4,6	6,5	8,2	10,1	13,3	16,0	20,0	24,2	28,3	32,1	37,1	45	20,0	24,2	21,0	45
50	2,7	4,1	5,3	7,2	9,2	11,5	14,6	17,6	22,1	26,1	30,7	35,0	40,0	50	22,1	26,1	23,0	50
55	3,0	4,5	6,1	8,0	10,3	12,9	16,0	19,3	24,1	27,9	33,1	37,5	42,8	55	24,1	27,9	25,0	55
60	3,5	5,1	6,7	9,0	11,4	14,1	17,7	21,1	25,9	29,6	35,0	39,6	45,2	60	25,9	29,6	26,8	60
65	4,0	5,6	7,4	9,9	12,4	15,2	19,1	22,9	27,5	31,4	36,4	41,6	48,0	65	27,5	31,4	28,4	65
70	4,6	6,3	8,2	11,0	13,5	16,4	20,6	24,7	29,1	32,9	37,9	43,8	50,8	70	29,1	32,9	30,0	70
75	5,2	6,9	9,1	12,0	14,6	17,9	22,2	26,3	30,7	34,3	40,0	46,0	53,4	75	30,7	34,3	31,6	75
80	5,8	7,7	10,0	13,0	16,0	19,3	23,8	28,0	32,7	36,0	42,7	49,0	56,2	80	32,7	36,0	33,5	80
85	6,5	8,5	11,0	14,2	17,9	21,1	25,6	30,0	34,9	38,1	45,5	53,0	60,2	85	34,9	38,1	35,7	85
90	7,2	9,4	12,1	15,2	20,0	23,2	27,9	32,3	37,5	41,3	49,0	58,0	65,0	90	37,5	41,3	38,4	90
95	8,3	10,8	13,8	18,0	23,2	27,4	32,1	37,7	42,0	47,8	55,0	66,3	74,0	95	42,0	47,8	43,4	95
100	10,5	14,4	19,2	24,0	30,0	37,0	44,0	51,0	55,0	63,0	75,0	85,0	98,0	100	55,0	63,0	56,9	100
70	4,6	6,3	8,2	11,0	13,5	16,4	20,6	24,7	29,1	32,9	37,9	43,8	50,8		29,1	32,9	0,24	Ref.



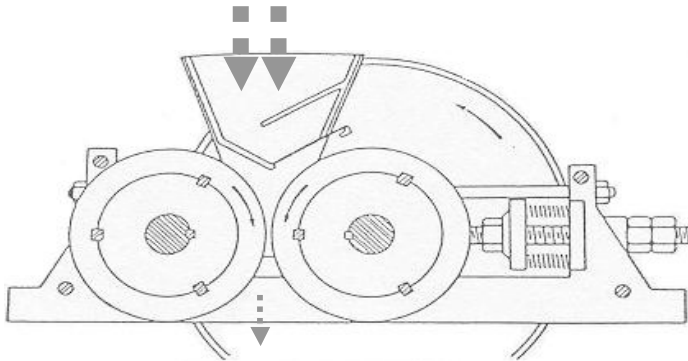
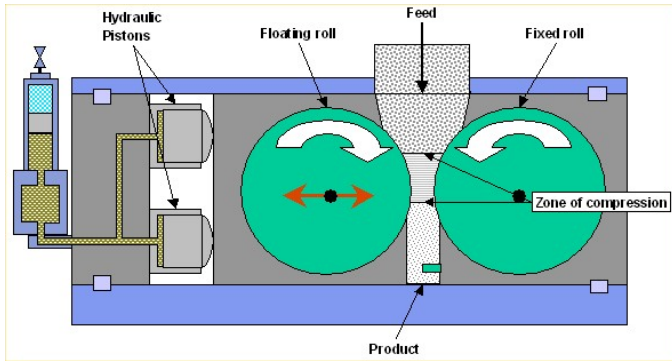

**Nota:** Si los datos base están fuera de rango, se supera el rango de trabajo de la familia de curvas, sale error en las matrices de cálculo

## 7.5. Trituración secundaria I (continuación). Trituradora de cilindros

### 7.5.1. Descripción

Las trituradoras de cilindros están formadas por dos cilindros de ejes paralelos, girando en sentidos contrarios y con un recubrimiento antidesgaste. Los cilindros pueden ser lisos, acana- lados o dentados.

Las *trituradoras o molinos de cilindros* lisos o los provistos de finos canales trabajan por aplastamiento, es decir, por compresión lenta y continua. Los molinos de cilindros dentados tra- bajan principalmente por cizallamiento o desgarró, por percusión y en menor medida por com- presión.

 <p>Figura. Rodillos de trituración</p>	<p><b>Figura 7.26.</b> Trituradora de cilindros con volante de inercia y sistema de presión mediante resortes (muelles) que actúan de sistema anti-intriturables.</p>
 <p>Figura 7.27. Trituradora de rodillos con sistema de presión hidráulico.</p>	 <p><b>Figura 7.28.</b> Imagen de trituradora de rodillos.</p>

Los *sistemas de transmisión* admiten un motor que acciona un cilindro y mediante engrana- jes transmite el movimiento al segundo cilindro o bien dos motores independientes que accio- nan cada cilindro.

Cuando las velocidades de rotación de ambos cilindros son iguales, el sistema actúa, tal como se ha indicado anteriormente, por compresión lenta y continua. Cuando se les hace tra- bajar a diferentes velocidades, bien porque los motores giran a diferentes r.p.m. o porque el acoplamiento produce un desfase en el giro, se añade al efecto principal, efectos de atrición- frotamiento en los cilindros lisos y a los cilindros con estrías efectos de atrición-corte (cizalladu- ra) y efectos de desgarró.

Las *relaciones de reducción* normales son de 4 ó 5 y puede llegar a 7. Estos equipos son pro- pios o indicados para la trituración terciaria. Estas relaciones de reducción son aplicables para uno o dos rodillos.



El *sistema anti-intriturables* lo forma unos muelles que permiten el desplazamiento de uno de los cilindros ante cuerpos duros. No son apropiadas para materiales abrasivos por su sistema de trabajo ya que están sometidos a mucha fricción (desgaste). La velocidad periférica es de 4 a 10 m/s lo que origina fuertes rozamientos.

**Alimentación.** Son máquinas robustas que pueden tratar productos húmedos y pegajosos. Con productos abrasivos, el consumo de camisas puede ser elevado. Su utilización industrial es baja actualmente, y se consideran dos formas básicas de alimentación al molino.

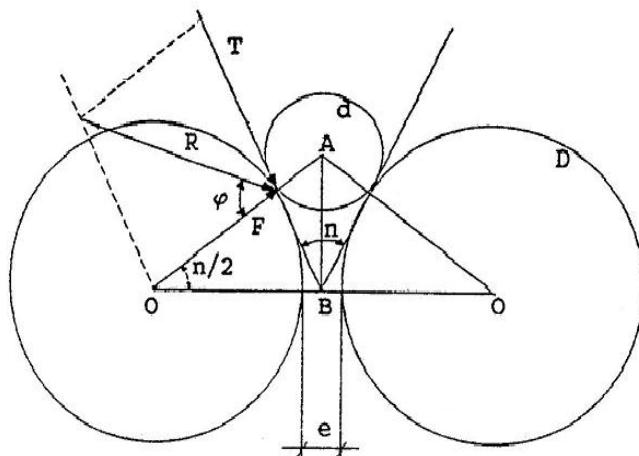
- Alimentación en monocapa. El material se alimenta con regularidad y de una forma casi monograno, monocapa de 1 en 1. En estas condiciones trabaja casi como una compresión pura. Tiene la ventaja de un desgaste menor de los cilindros y produce menos finos con el inconveniente de disminuir la capacidad de forma notable.
- Alimentación a tragante lleno. Que haya siempre material sobre los rodillos, se produce una compresión y roce entre los granos de mineral que hace que se produzcan muchos finos. En estas condiciones aumenta la capacidad al máximo pero también aumenta el desgaste y la producción de finos.

El *sistema antidesgaste* o la protección de los cilindros, que están sometidos a fuertes rozamientos por el sistema de trabajo, lo constituyen placas de acero al manganeso o de Ni-hard (aceros al Cr Ni).

**Elección del modelo.** Esto se hace en base al tamaño máximo que puede admitir y que es el que condiciona el diámetro de los cilindros.

### 7.5.2. Tamaño de partícula, relación con el diámetro del cilindro

Existe una relación entre el tamaño de la partícula admisible en el sistema y el diámetro de los cilindros de tal forma que la partícula sea absorbida por el sistema. Se considera una partícula esférica y se dan las definiciones siguientes:



e: Reglaje, separación mínima entre los cilindros.

F: Fuerza de compresión.

T: Fuerza de fricción.

R: Resultante. Si la dirección de la resultante es vertical hacia abajo, el bloque es tragado por la máquina y si es hacia arriba es rechazado.

n: Ángulo que forman las tangentes a los rodillos (ángulo de nip) en el punto de contacto bloque-rodillo, es variable durante el avance del bloque en la máquina.

$\varphi$ : Ángulo de rozamiento correspondiente al material;

si  $\varphi > n/2$ , el bloque entra en la máquina.

si  $\varphi < n/2$  el bloque sale despedido.

D: Diámetro de los rodillos.

d: Diámetro del bloque, considerado esférico para el cálculo.

Se desprecia el peso del bloque, que actúa en sentido favorable al proceso, y se plantea la ecuación de equilibrio para las fuerzas verticales. La resultante impone la condición de:

$$\cos(\varphi) < \cos(n/2) ; \varphi > n/2.$$

$$\cos(n/2) = OB/OA = (D/2 + e/2) / (D/2 + d/2) = (D + 2e) / (D + d).$$

Luego:  $\cos(\varphi) < \cos(n/2) = (D + 2e) / (D + d)$  ; operando se obtiene las expresiones de:

Tamaño máximo a alimentar:

$$d < \{D(1 - \cos\varphi) + e\} / \cos(\varphi) \quad (C1).$$

Diámetro mínimo para moler a tamaño “e” una alimentación de tamaño “d”.

$$D > \{(d - \cos\varphi) - e\} / \{1 - \cos(\varphi)\} \quad (C2).$$

Cuando el material que se emplea es seco (humedad menor del 5%), de coeficiente de rozamiento correspondiente a un ángulo de 17° y con una velocidad de cilindros relativamente baja (4 a 6 m/s) se puede utilizar la expresión más sencilla:

Caso favorable:  $D_{\min} > 22 \cdot (d_{\max} - e) \quad (C3).$

Caso desfavorable:  $D_{\min} > 54 \cdot (d_{\max} - e) \quad (C4).$

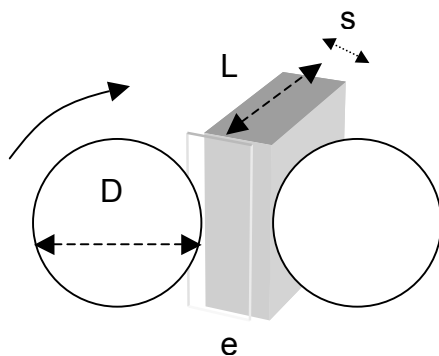
La ecuación más general (C2) se utilizará para material húmedo, con coeficiente de rozamiento bajo y velocidad alta.

Cuando se realizan tanteos o se desconoce el material o existe la probabilidad de fuertes variaciones en las características es recomendable la utilización de la ecuación más restrictiva dada por:

$$D > 50 \cdot (d_{\max} - e)$$

### 7.5.3. Cálculo de la capacidad de las trituradoras de cilindros

Se considera el desplazamiento por la cámara de un bloque paralelepípedo de longitud igual a la abertura de la cámara y con las definiciones siguientes:



L: Longitud de cada rodillo en m.

D: Diámetro de cada rodillo en m.

e = s, Separación o reglaje en m.

n: Velocidad de rotación en r.p.m.

v: Velocidad periférica de los rodillos en m/s.

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 60.$$

Q: Caudal de material triturado en m<sup>3</sup>/s.

Capacidad, C = Q · ρ (medido normalmente en t/h).

ρ<sub>a</sub>: densidad aparente del material a triturar (se puede considerar un valor aproximado de 0,6 por la densidad real, 40% de huecos en el material).

El material que pasa por la trituradora, sin considerar los pequeños deslizamientos, será:

$$Q = \text{Área} \cdot \text{velocidad}.$$

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = s \cdot L \cdot v ; \quad Q(\text{t}/\text{s}) = s \cdot L \cdot v \cdot \rho$$

La capacidad teórica será:  $Q(\text{t}/\text{h}) = s \cdot L \cdot v \cdot \rho \cdot 3.600$  y la real se afectará de un coeficiente y se obtiene la expresión práctica de uso generalizada para la capacidad de una trituradora de cilindros:

$$Q(\text{t}/\text{h}) = K \cdot s \cdot L \cdot v \cdot \rho_a \cdot 3.600$$

El coeficiente  $k$  es un valor experimental que depende de:

- Aflojamiento:** la cantidad de huecos que presenta el material a granel y que será mayor cuando se desliza en caída que cuando está apilado en horizontal.
- Deslizamiento:** este valor suele ser pequeño, no se ha tenido en cuenta en el cálculo, y se produce por el deslizamiento de los bloques entre los cilindros.
- Imperfección de la alimentación:** no es posible asegurar la continuidad perfecta del flujo de partículas en el material.

El valor de  $K$  varía entre  $0,1 < k < 0,3$  y en la práctica se toma de referencia el intervalo dado por:  $0,15 < k < 0,20$  cuando se trabaja en tipo monocapa, alimentación regulada y controlada y casi monopartícula de espesor. Cuando se trabaja a tolva llena, con un aumento notable de la capacidad, se considera un valor de  $k$  entre  $0,4$  y  $0,6$ .

La velocidad lineal se deduce de la velocidad de rotación mediante  $v = \pi \cdot D \cdot n / 60$ , que sustituyendo en la fórmula general queda la expresión generalizada:

$$C(t/h) = k \cdot 60 \cdot \pi \cdot L \cdot e \cdot D \cdot n \cdot \rho_a ; \text{ con } 0,15 < k < 0,20.$$

Que aproximada para un valor de  $k$  intermedio resulta la expresión práctica:

$$C(t/h) = 33 \cdot L \cdot e \cdot D \cdot n \cdot \rho_a$$

#### 7.5.4. Campo de trabajo

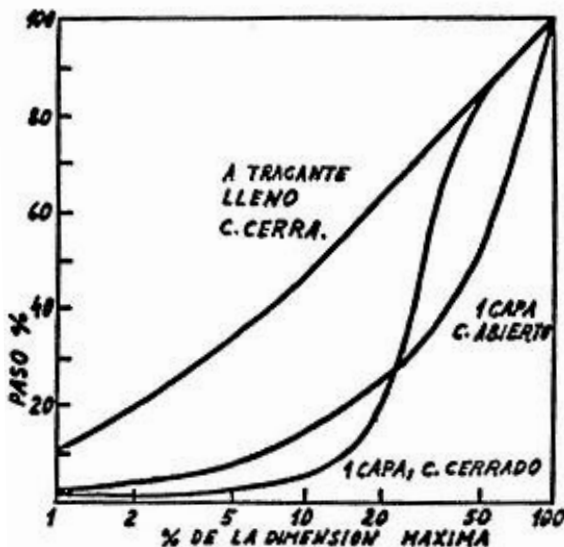
Estos equipos por su concepción son adecuados para trabajar con materiales no muy duros ni abrasivos. Trabajando en el sector del carbón donde se emplean regularmente las máquinas de rodillos dentados, se utilizan expresiones particulares, fórmulas adaptadas, del tipo:

$C(t/h) = k \cdot d \cdot v \cdot L$  ; siendo:

$d = d_{95}$  del carbón triturado puesto en mm, o reglaje.

$v$ : velocidad periférica de los cilindros en m/s.

$k$ : 0,4 antracita; 0,5 hullas duras; 0,6 hullas medias; 0,8 hullas blandas.



La potencia se calcula mediante la fórmula de Bond aplicando un coeficiente de  $f = 1,3$  igual que para los molinos.

Produce pocos finos y la granulometría es regular. Su selección se realiza por el tamaño máximo que debe admitir. La relación de reducción normal es de 4.

Las curvas granulométricas para las trituradoras de rodillos, en función del porcentaje del tamaño máximo, varían con el tipo de alimentación y son del tipo que se da en la figura.

En figuras posteriores se dan los gráficos tabulados para facilitar el uso numérico.

En estas máquinas se considera que el porcentaje de paso por una malla cuadrada de abertura igual al reglaje es del 85%.

### 7.5.5. Trituradoras de cilindro y placa. De cilindros dentados

Un caso particular de trituradoras de cilindros lo constituyen los equipos dotados de un único cilindro que trabaja contra una placa o mandíbula fija. Normalmente, el cilindro está dotado de grandes dientes en alternancia con otros de tamaño menor, siendo los dientes pequeños los que captan los bloques mayores.

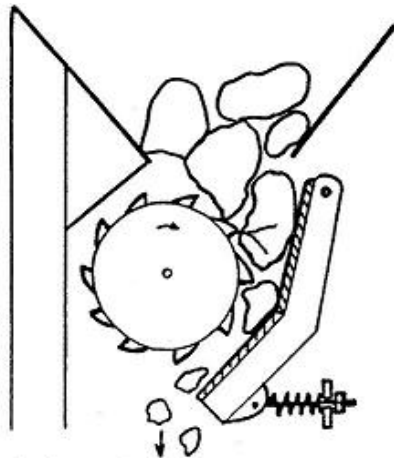
La placa o mandíbula es fija y está tensada mediante un vástago y un muelle, que cede ante un intriturable o un trozo excesivamente duro y lo deja pasar.

Estos equipos trabajan por compresión y las placas pueden ser lisas o acanaladas para facilitar el trabajo de cizallamiento.

La velocidad periférica suele ser más lenta que los anteriores, 2 m/s.

En general, los molinos de rodillos, dos o un rodillo, dan menos finos que las trituradoras, y muchos menos que las de impacto, pero su desgaste es mayor por lo que no resultan adecuadas para materiales abrasivos.

En estos equipos, los dientes están sometidos a fuertes esfuerzos por lo que se aplican, normalmente, para rocas muy friables y no muy duras, o para materiales blandos, húmedos o pegajosos y no abrasivos.



**Figura 7.29.** Tritrador de cilindro dentado y placa.

Para el caso particular de dos rodillos dentados, los picos se sitúan de forma alterna de tal manera que actúan de picas y de tamiz limitando el paso de los trozos grandes y facilitando el paso de los tamaños inferiores.

El montaje es similar al de rodillos lisos, pero trituran por tracción al actuar los pocos y por compresión cuando obligan a pasar a los trozos entre los rodillos. Por el efecto anterior, producen pocos finos y dan una granulometría uniforme y regular.

El paso por una malla cuadrada igual al reglaje es de 80 a 85% y el reglaje se mide por la distancia que queda en la posición más cerrada entre un pico y la concavidad que se enfrenta a él en el movimiento de giro del cilindro opuesto.

Se utiliza en rocas de resistencia baja como esquistos o carbón. La selección se hace teniendo en cuenta el tamaño de grano máximo a triturar y se considera que el tamaño de rodillo debe ser de al menos tres veces superior al tamaño máximo.

La capacidad se determina por los datos del fabricante, normalmente, y existe (se puede usar) alguna expresión para máquinas tipo como la fórmula siguiente:

$$C(t/h) = k \cdot d_{95} \cdot v \cdot L$$

Siendo:

$d_{95}$ : Es la malla por la que pasa el 95% del producto triturado expresada en mm.

$v$ : Velocidad periférica de los rodillos en m/s.

$K$ : Constante que toma valores tipo de 0,4 para antracita, 0,5 para el carbón duro y 0,6 para el medio y 0,8 para el blando.

La curva típica de la granulometría producida en los trituradores de cilindros de rodillos dentados es la que se da en la figura general que se adjunta a continuación con la letra D.

La potencia se calcula por la fórmula de Bond aplicando en este caso, por la regularidad del funcionamiento, un coeficiente de 1,3, para todos los modelos de trituradoras de cilindros (lisos, dentados, acanalados, cilindro-placa).

### 7.5.6. Resumen de características de uso de las trituradoras de cilindros

Concepto	Cilindros lisos	Cilindros dentados	Cilindro y placa
Reglaje	Distancia mínima entre cilindros.	Distancia de pico a valle.	Distancia de pico a placa.
Fuerzas puestas en juego	Compresión continua.	“Picado” tracción y desgarro más compresión.	Cizalladura y desgarro
Relación de reducción	$R_r = 2 - 5$ (max: 7)	$R_r = 2 - 5$	$R_r = 2 - 5$
Paso por una malla cuadrada igual al reglaje	80 - 85%	80 - 85%	80 - 85%
Adecuada para	Productos pegajosos y húmedos.	Productos pegajosos y húmedos.	Productos pegajosos y húmedos.
Aplicaciones principales	Rocas blandas.	Rocas no muy resistentes, esquistos y carbón.	Rocas no muy resistentes, esquistos y carbón.
Capacidad	Condicionada por el sistema de alimentación.		
Cálculo de la capacidad	$C(t/h) = 33 \cdot L \cdot e \cdot D \cdot n \cdot \rho_a$ $Q(t/h) = K \cdot s \cdot L \cdot v \cdot \rho_a \cdot 3.600$	$C(t/h) = k \cdot d_{95} \cdot v \cdot L$ v en m/s ; L en m.	$C(t/h) = k \cdot d_{95} \cdot v \cdot L$ v en m/s; L en m.
Calculo de la potencia, todos los modelos	Fórmula de Bond $f = 1,3.$	Fórmula de Bond $f = 1,3.$	Fórmula de Bond $f = 1,3$
Curvas granulométricas de los productos de la trituración.		Curvas del tipo $\%(\text{pasantes}) = f(\% \text{ dmax})$ ; que se dan a continuación algunos ejemplos.	
Elección del modelo	Función del tamaño máximo.	Función del tamaño máximo.	Función del tamaño máximo.
Bloque admitido / rechazado	$n < 2 \cdot \varphi$	$n < 2 \cdot \varphi$	$n < 2 \cdot \varphi$
Sistema anti-intriturables	Muelles o hidráulico que desplaza uno de los cilindros.	Muelles o hidráulico que desplaza uno de los cilindros.	Muelles o hidráulico que desplaza la placa.

Análisis granulométrico de los productos triturados						Trituradoras de cilindros	
% dmax	Paso en porcentaje				% dmax	Para más precisión en valores intermedios se puede interpolar. para: (x > i)	
	A	B	C	D		B(x) = B(i) +	$\frac{P(x) - P(i)}{P(i+1) - P(i)} \cdot (B(i+1) - B(i))$
1	2	1	11	2	1		
2	3	1	19	3	2		
4	6	2	30	6	4		
7	10	3	40	10	7		
10	14	6	47	14	10	A.- Trituradora de cilindros lisos en	
15	20	11	56	20	15	circuito abierto	Alimentación en capa
20	25	19	63	27	20		
25	29	32	68	35	25	B.- Trituradora de cilindros lisos en	
30	33	48	72	42	30	circuito cerrado	Alimentación en capa
35	37	60	76	48	35		
40	42	73	79	55	40	C.- Trituradora de cilindros lisos en	
45	46	79	82	61	45	circuito abierto	Tragante lleno
50	51	84	84	67	50		
55	55	87	86	72	55	D.- Trituradora de cilindros dentados	
60	60	89	89	78	60		
65	65	91	91	86	65		
70	70	93	93	93	70		
75	75	95	94	96	75		
80	80	96	95	97	80	Ejemplo de uso: En una trituradora de cilindros (A)	
85	85	97	96	98	85	el 42% del producto triturado pasa por una malla	
90	90	98	97	99	90	cuadrada de tamaño 40% del valor dmax	
95	95	99	98	99	95		
100	100	100	100	100	100		

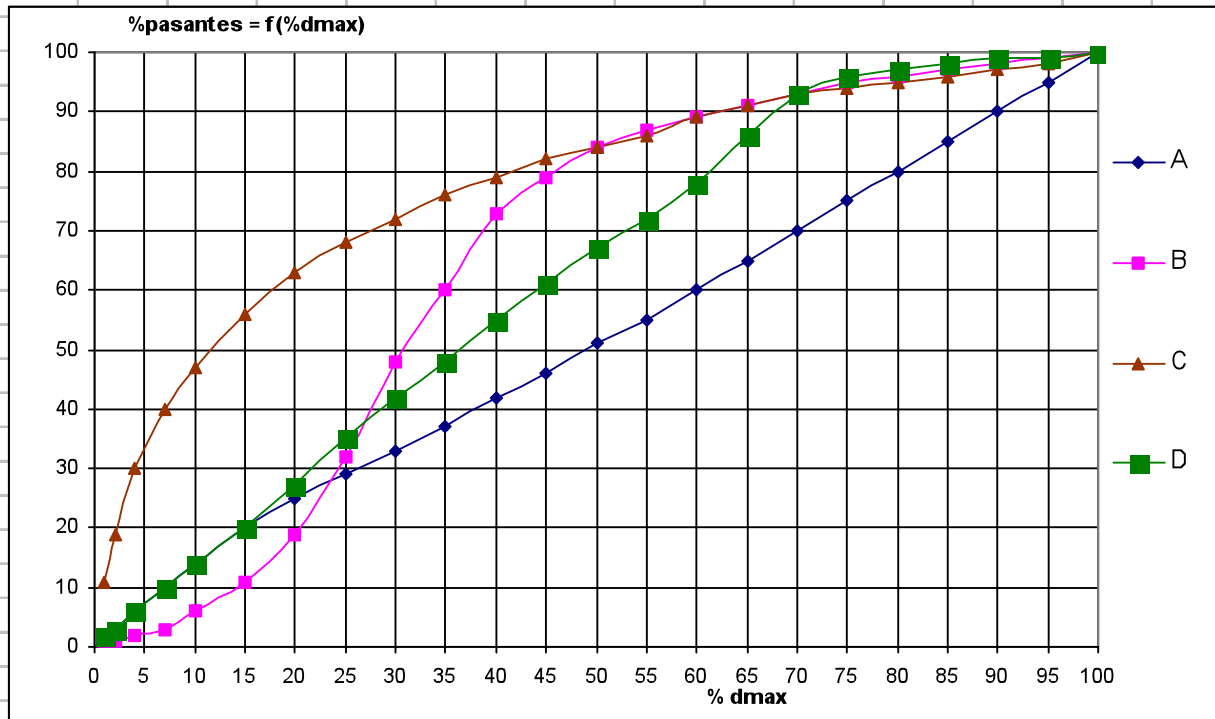


Figura 7.30. Curvas de análisis granulométrico de los productos triturados en equipos de cilindros.

		Molinos de cilindros dentados				Características aproximadas de los tamaños más corrientes						
		Dimensiones		Dentado grueso			Dentado fino			Velocidad de los cilindros	Potencia motor	Peso total
		Diámetro mm	Ancho mm	Capacidad de toma mm	Reglaje normal mm	Producción media t/h	Capacidad de toma mm	Reglaje normal mm	Producción media t/h	r.p.m.	kW	t
Serie normal		300	600	100	30	45	40	10	15	150	5	1,4
		450	700	150	50	100	50	15	30	130	10	2,3
		600	800	200	60	150	60	20	50	100	2 x 10	4,0
		750	900	250	70	200	70	25	65	75	2 x 15	8,5
		750	900 1.400	250	70	300	70	25	100	75	2 x 25	10,8
Serie pesada		1.000	900	350	100	300	80	25	60	130	2 x 40	22
		1.000	1.250	350	100	400	80	25	75	130	2 x 60	25
		1.250	1.250	500	150	400	100	35	80	125	2 x 60	36
		1.250	1.600	500	150	500	100	35	100	125	2 x 75	40
		1.600	1.400	1.000	250	600	125	45	120	120	2 x 75	70
		1.600	1.800	1.000	250	800	125	45	160	120	2 x 100	80
		1.800	1.500	1.000	300	800	-	-	-	110	2 x 150	110
		2.000	1.800	1.250	350	1.200	-	-	-	90	2 x 175	130
	2.250	2.100	1.500	350	1.600	-	-	-	80	2 x 250	175	
Serie normal		450	450	200	50	15-30	150	30	10-20	75	10	1,5
		450	650	200	50	20-55	150	30	15-25	75	12	3,0
		600	800	450	60	40-70	350	35	20-60	60	32	5,2
		600	1.250	450	70	60-100	450	40	30-70	60	45	7,0
		800	1.000	600	80	80-120	500	50	40-80	47	60	9,5
		800	1.400	600	90	100-150	500	60	70-110	47	75	12
		900	1.500	900	200	350	-	-	-	39	150	66
Serie pesada		1.250	1.800	250	250	500	-	-	-	27	200	125
		1.500	2.140	300	300	900	-	-	-	23	250	200

		Molinos de cilindros lisos o acanalados				Características aproximadas de los tamaños más corrientes						
		Dimensiones		Cilindros lisos			Cilindros acanalados			Velocidad de los cilindros	Potencia motor	Peso total
		Diámetro mm	Ancho mm	Capacidad de toma mm	Reglaje normal mm	Producción media t/h	Capacidad de toma mm	Reglaje normal mm	Producción media t/h	r.p.m.	kW	t
Serie normal		200	125	7	2	1	20	8	5	240	1	0,3
		300	250	10	3	2,5	30	12	7,5	200	2	1,1
		400	280	15	4	4	45	15	10	180	5	1,7
		500	300	20	5	6	60	20	20	150	7,5	3,0
		500	500	20	5	10	60	20	30	150	2 x 5	3,5
		500	900	20	5	18	60	20	60	150-180	25	4,2
		600	450	22,5	5	10	70	25	60	135	25	4,5
		700	350	25	6	8	80	30	30	120	2 x 15	4,8
		700	550	25	6	10	80	30	35	100	2 x 20	5,8
		700	750	25	6	16	80	30	60	120	2 x 25	7,4
	700	1.400	25	6	30	80	30	100	150-180	60	10,6	
Serie pesada		1.000	400	35	8	12	100	40	50	75	2 x 20	10
		1.000	600	35	8	20	100	40	80	75	2 x 25	13
		1.000	750	35	8	25	100	40	100	75	2 x 30	15
		1.250	650	45	8	20	125	50	125	115	2 x 25	25
		1.350	750	50	10	90	150	50	145	110	2 x 30	40
		1.500	450	60	10	65	160	50	100	115	2 x 60	80
		1.800	500	70	10	75	185	60	250	115	2 x 75	100
		1.800	900	70	10	140	185	60	300	115	2 x 120	115
	2.000	600	80	12,5	250	200	60	650	110	2 x 150	140	



## Double Roller Crushers



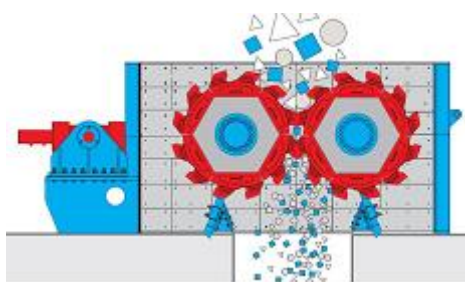
Crushing plant in Canada with double roller crusher SZWB2015 and apron feeder AF 2400 x 14



FAM  
Double roller crushers with throughput rates up to 5000 m<sup>3</sup>/h

Double roller crusher SZWB2015 heavy-duty type rotor diameter 2000 mm rotor width 1500 mm input 0 - 900 mm output 0 - 200 mm

Crushing roll heavy-duty type diameter 2000 mm



<http://www.fam.de>

<b>Ejercicio de aplicación</b>									
Se necesita triturar una roca blanda y poco abrasiva, con coeficiente de rozamiento elevado ( $f = 32^\circ$ ); cuyo $D_{max} = 40$ mm, para reducirla a $d_{max} = 15$ mm									
a)	Que diametro deben tener los rodillos lisos, en caso de emplear una trituradora de rodillos, si van a funcionar a $5$ m/s de velocidad periférica.								
b)	¿ Cual será la capacidad de trituración, con una alimentación bien regulada ( $k = 0,2$ )? Expresada en t/h, siendo $p_s$ ( densidad ) = $2,65$ kg / dm <sup>3</sup> , y la longitud de los cilindros igual al diametro.								
c)	¿ Qué potencia necesitará el motor de accionamiento ( único ) ? . El índice de Bond es $W_i = 12,5 \rightarrow 13,78$ para trabajo en kWh								
En una trituradora de rodillos, el $d_{80}$ corresponde al 80% del $d_{max}$ cuando trabaja en circuito abierto, ver curvas granulométricas de los productos triturados. El $D_{80}$ de la alimentación se debe dar como información									
<b>SOLUCION</b>									
a)	$\varnothing > 22 \cdot (d - e)$	$\varnothing =$ diametro de los rodillos en m	$D_{max} =$ diametro máximo de la alimentación en m	$e =$ separación entre los rodillos, igual al diametro máximo de descarga en m					
	$\varnothing > 22 \cdot (0,04 - 0,015)$	$= 0,55$ m	$\rightarrow$	$\varnothing > 550$ mm					
b)	<b><math>C(t/h) = k \cdot 60 \cdot p \cdot L \cdot e \cdot n \cdot \varnothing \cdot p_s</math></b>				$k =$ tipo de alimentación				
	$C(t/h) = 0,2 \cdot 60 \cdot p \cdot 0,55 \cdot 0,015 \cdot n \cdot 0,55 \cdot 2,65$			$L =$ longitud del cilindro					
	$C(t/h) = 0,453 \cdot n$			$e =$ separación entre rodillos					
	$p \cdot \varnothing \cdot n$			$n =$ r.p.m.					
	$v = \frac{60 \cdot \varnothing \cdot n}{60}$			$\varnothing =$ diametro del rodillo					
	$n = \frac{60 \cdot v}{\varnothing}$			$p_s =$ densidad del material					
	$n = \frac{60 \cdot 5}{0,55}$	$\rightarrow n = 173,7$ r.p.m.		$(v = 5$ m/s)					
	$C(t/h) = 78,71$ t/h								
c)	Empleando la fórmula de bond								
	$W = 10 \cdot W_i$	$\left( \frac{1}{d_{80}} - \frac{1}{D_{80}} \right)$			Si en lugar de $D_{80}$ y $d_{80}$ , tomamos los valores de $D_{max}$ y de $d_{max}$ obtenemos una potencia algo superior. ( mayorada en la relación $D_{max} / D_{80}$ )				
	$W = 10 \cdot 12,5$	$\left( \frac{1}{15000} - \frac{1}{40000} \right)$			$= 125 \left( 0,0082 - 0,005 \right) = 0,396$ kWh/st				
	$P_{Tot} = 0,396$ kWh/st	C.V. $\frac{78,71 \text{ t/h}}{0,907 \text{ t/st}}$							
	$P_{nominal} = 60$ kW	$\rightarrow$ C.V. $\frac{1,36 \text{ kW}}{0,907 \text{ t/st}}$			$f_1 = 1,3$ para los trituradores de cilindros				
	<b>40 a 50 kW</b>								

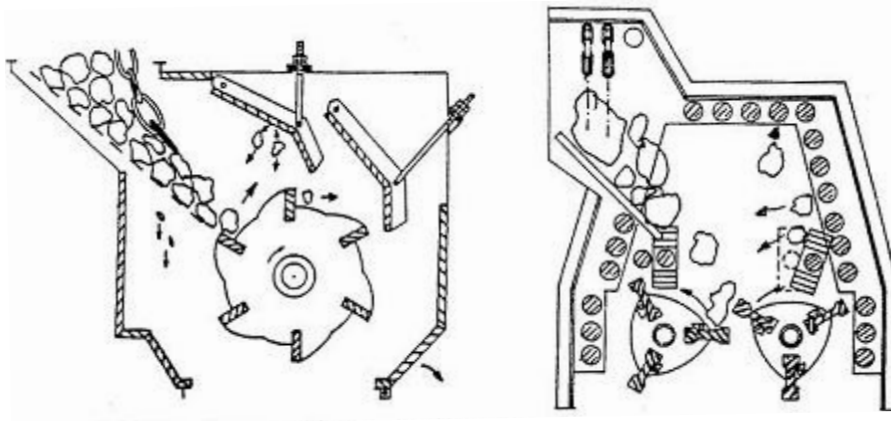
## 7.6. Trituración secundaria II. Martillos

### 7.6.1. Introducción, trituradoras de impacto o percusión

Estos equipos trabajan aplicando una fuerza de manera brusca, choque o impacto, generado por la energía cinética diferencial entre el bloque a triturar y el movimiento de rotación de una masa pesada, rotor, provista de salientes en forma de martillos o dientes prolongados. El material golpeado es lanzado contra una mandíbula fija donde recibe un segundo, tercero, etc., impacto y se subdivide en fragmentos cada vez menores.

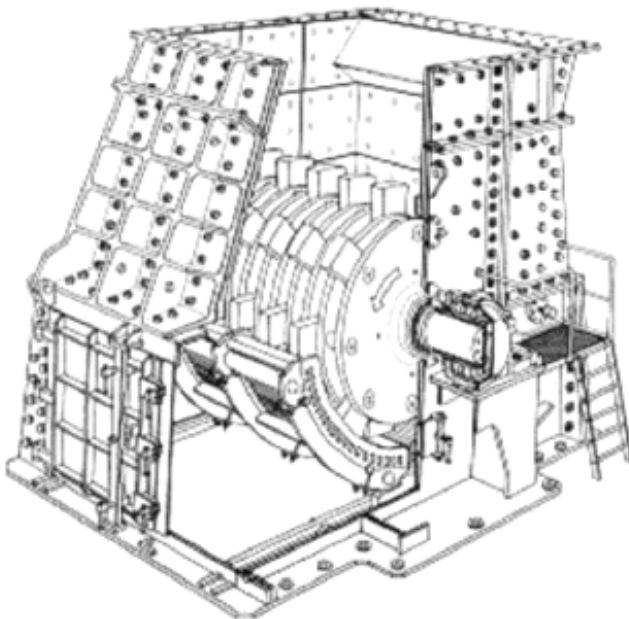
Los equipos, según la forma de transmisión de la energía al bloque, se dividen en dos familias:

- a) Trituradoras de molinos o martillos, percusión.
- b) Trituradoras de impactos.



**Figura 7.31.** Trituradoras de impacto de uno y dos rotores.

Se usa en trituración de forma genérica existiendo gamas preparadas para la trituración primaria, secundaria y terciaria, con la salvedad que cuando se trabaja en la fracción terciaria a los equipos se les suele denominar molinos de martillos y su diferencia con las trituradoras es el menor tamaño de entrada.



El elemento principal del equipo es un rotor de gran inercia y gran velocidad, 15 a 20 m/s, en el que están distribuidos uniformemente martillos o mazas que chocan contra las partículas, o las partículas contra las mazas, y en esos choques se producen las fisuras de trituración en las partículas a fragmentar.

Los martillos van firmemente fijados al rotor, incluso reforzados mediante un resalte en su parte trasera para soportar el golpe.

Por su forma de trabajar producen elementos más cúbicos, las partículas rompen por los planos de debilidad, y tienen altas relaciones de reducción. Este último factor permite reducir el número de etapas en la fragmentación, pero tiene, también por su forma de trabajo, un gran desgaste. En general son máquinas de concepción sencilla.

Los desgastes elevados en los equipos producen un mayor coste en reposición de placas y martillos, mayores tiempos de parada del equipo y es necesario considerar en su explotación los tiempos muertos y la disminución de productividad diaria por paradas, la disponibilidad de la máquina es menor por comparación con las de mandíbulas o las rotatorias.

En las trituradoras de impactos, los martillos se convierten en una especie de palas que impulsan las partículas contra unas placas fijas y en esos choques se produce igualmente la rotura de los bloques. Tanto en el modelo de martillos como el de impactos, la velocidad del rotor aumenta al disminuir el diámetro de las partículas a triturar, cuanto más pequeño es el tamaño a triturar mayor debe ser la velocidad del rotor para dar energía suficiente a la partícula para su fragmentación.<sup>20</sup>

### 7.6.2. Fundamento teórico

La energía del sistema es la correspondiente a la energía cinética relativa entre ambos movimientos de desplazamiento, partícula y rotor, y viene dada por la expresión:

$$E = (1/2) \cdot m \cdot v^2$$

Esta energía es proporcional a la masa y al cuadrado de la velocidad relativa, y la transmisión del rotor a la partícula se efectúa por un mecanismo de choque con transferencia de energía y modificación de la velocidad., mediante la fórmula general del choque dada por:

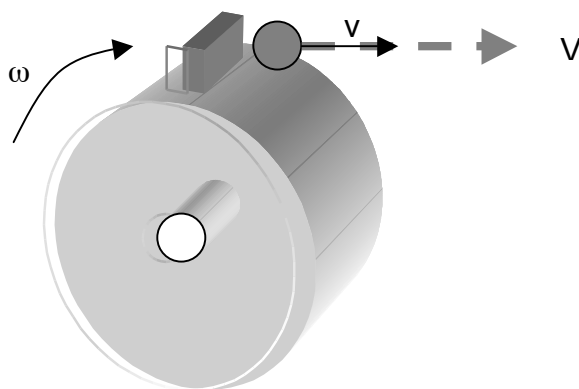
$$V = v \cdot (1 + r) ; \quad V: \text{velocidad con la que sale impulsada la partícula.}$$

$$v: \text{velocidad periférica del rotor; } v = \omega \cdot r.$$

$$r: \text{coeficiente de restitución (de valor aproximado 0,6).}$$

Durante el momento del impacto, y suponiendo un momento de inercia del rotor muy grande con relación a la energía puesta en juego en el sistema, se supone que la velocidad del rotor no sufre modificaciones apreciables durante el impacto.

Cuando una partícula choca con el rotor, esta partícula sale impulsada a una velocidad mayor debido a que e ve afectada por la fuerza:



Cuando una partícula choca con el rotor (maza o martillo) que gira a una velocidad de  $\omega$  rad/s, esta partícula sale impulsada a una velocidad mayor debido al efecto de la fuerza aplicada a la partícula por el rotor:

$$F = m \cdot v \cdot (1 + r) / t, \text{ donde:}$$

$m$ : masa de la partícula.

$r$ : coeficiente de restitución.

$t$ : tiempo que tarda la partícula en adquirir la velocidad  $v$ , que es muy breve, y que depende de la elasticidad del material, se puede considerar de 0,5 ms (menos elástico) a 1 ms (más elástico).

En este caso se tiene la fórmula general:

$$F = m \cdot v \cdot k ; \quad \text{con } k: 1.600 \text{ ó } 800 \text{ función de la elasticidad.}$$

<sup>20</sup> Esto es concordante con el estudio de la fragmentación de la teoría de Bond, donde la energía es inversamente proporcional a la raíz del diámetro de entrada.

$$W_B = 10 \cdot W_i \cdot \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} (\sqrt{Rr} - 1)$$

Para las partículas más elásticas mayor velocidad se debe dar al rotor, y para las partículas de menor masa hay que aplicar una energía relativamente mayor para conseguir efectos similares.

Las trituradoras de martillos, se diferencian de los molinos de martillos por el tamaño de la máquina, que son más robustas y pesadas. Las trituradoras tienen un rotor de gran inercia (grande y pesado) y martillos no articulados (mazas) con salida libre normalmente, frente a los molinos de martillos que tienen elementos articulados (martillos) y salida controlada mediante una rejilla de escape.

Estos equipos, las trituradoras, trabajan normalmente, en circuito cerrado para el mejor control del proceso y la velocidad de giro es elevada, de 15 a 25 m/s.

Los molinos tiene el rotor más ligero, martillos generalmente articulados y una velocidad más alta, entre 30 y 50 m/s. Disponen de una rejilla de salida puesta en la parte inferior con aberturas adecuadas al tamaño que se quiere moler. En este caso la criba posterior no es necesaria por la mayor regularidad de la descarga, pero para optimizar el proceso se suele instalar en circuito cerrado como es característico de los molinos.

### 7.6.3. Aplicaciones y limitaciones de las trituradoras de percusión o impacto

- No son adecuadas, no valen, para materiales abrasivos por las fuertes velocidades del rotor.
- Las relaciones de reducción son muy elevadas, del orden de 10 a 30.
- Producen mucha sobre-fragmentación.
- La principal ventaja y que es importante en determinados productos<sup>21</sup>, es que el producto triturado es bastante cúbico y también selectivo (es decir que suele romper por las fisuras que tiene la mena y la ganga, y por lo tanto el grado de liberación es mayor y como consecuencia produce menos mixtos).
- Estas trituradoras no tiene sistemas de seguridad de muelles o anti-intriturables (por la forma de trabajar se desaprovecharía por el efecto del muelle, una energía importante).
- Se utilizan mucho en canteras para la producción de áridos.

### 7.6.4. Máquinas de cascada

Un caso particular de la trituración por impacto lo constituyen las máquinas que trabajan en cascada de la que existen varios modelos pero el más representativo es el tromel triturador que se utiliza largamente en el campo del carbón.

Consta de un cilindro hueco girando y dentro del cilindro se introduce el carbón. Por el efecto de giro el carbón ascienda por la pared lateral y es lanzado en caída libre e impacta contra las paredes del cilindro.

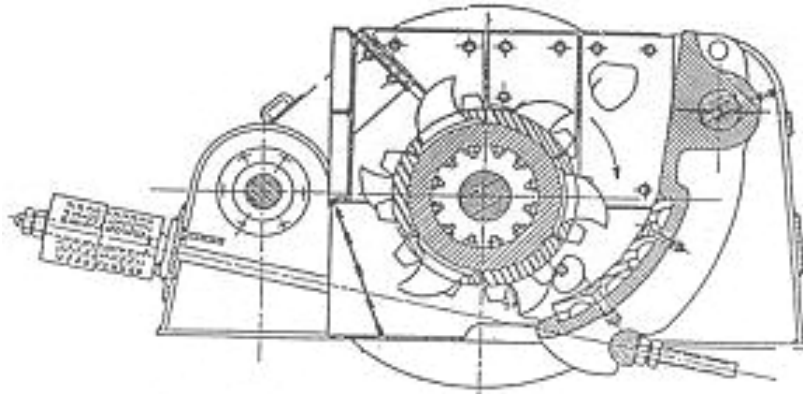
Cuando el cilindro es perforado, de tal forma que por las aberturas puede pasar el material más fragmentado, se denomina tromel Bradford y en este modelo se realiza una fragmentación y clasificación del carbón ya que el carbón es más fácil de triturar que la ganga que lo acompaña que suele ser pizarras por lo que el carbón pasa por la rejilla y las pizarras salen por el extremo opuesto.

Se utiliza preferentemente cuando los materiales o rocas en las que la mena y la ganga son de dureza diferente para aprovechar el efecto antes mencionado.

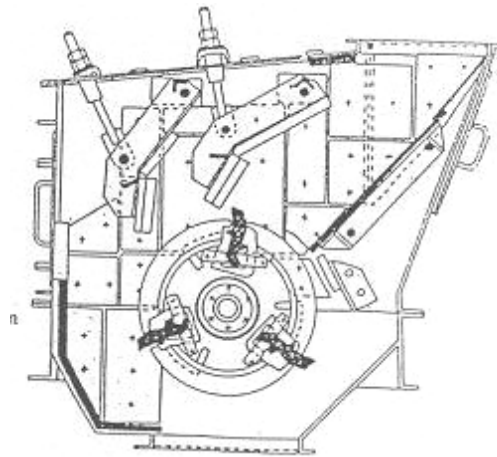
---

<sup>21</sup> Producción de áridos y utilización generalizada en la fragmentación del carbón.

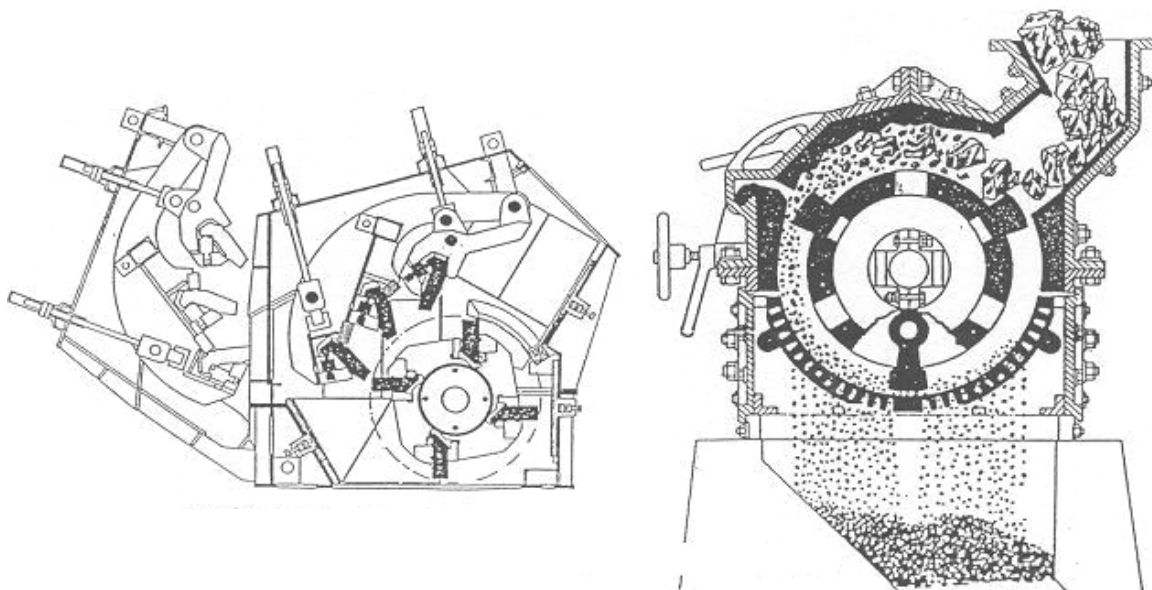
**7.6.5. Figuras características de trituradoras de cilindros y molinos de impacto**



**Figura 7.32.** Molino de cilindro único "Dragon".



**Figura 7.33.** Molino de percusión "Hazemag".



**Figura 7.34.** Molino de impactos y Molino de martillos.

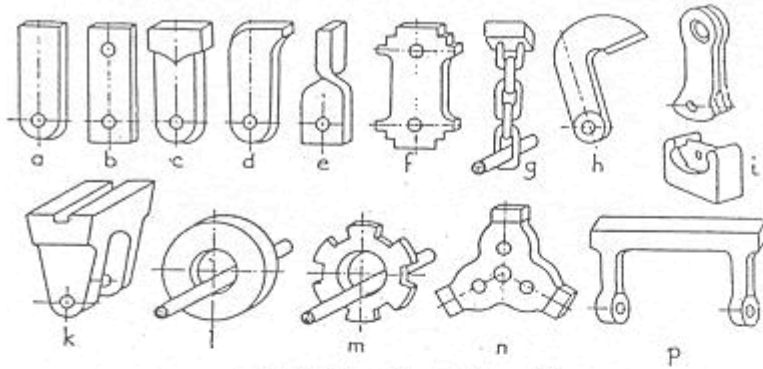


Figura 7.35. Diversas formas de martillos.

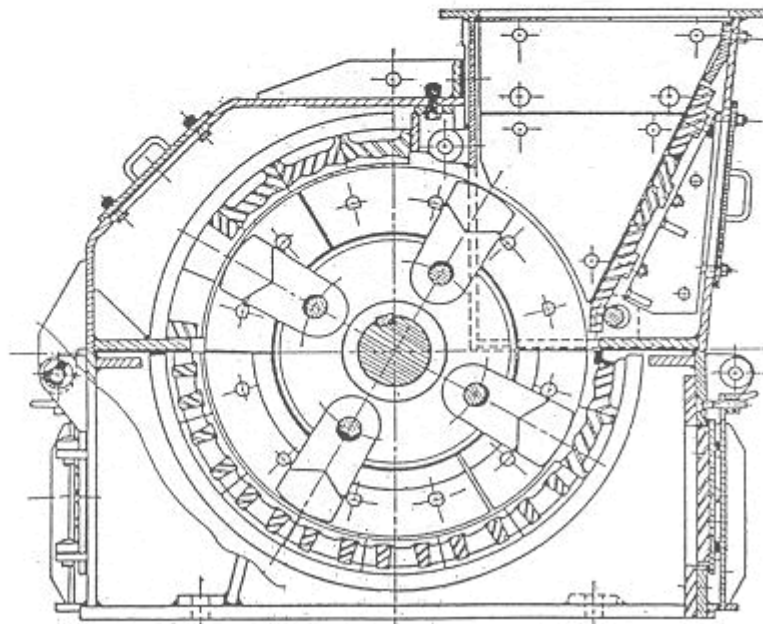


Figura 7.36. Molino de martillos pesados Dragon.

En las trituradoras de impacto de rotores horizontales, *la regulación es la distancia mínima entre la parte exterior de las barras del rotor y las placas o barras de choque*. Los materiales alimentados caen sobre los rodillos y son golpeados / impulsados por los mazas contra las placas fijas, en este proceso ya se producen roturas pero el efecto realmente de fragmentación se produce cuando los trozar acelerados chocan contra las placas y se rompen.

Los trozos vuelven a caer sobre los rotores y son nuevamente impulsados contra las placas y así hasta que el tamaño es suficientemente pequeño y les permite pasar entre los martillos y las placas a salir del equipo o bien pasar a través de la rejilla de salida, caso de los molinos de martillos.

*La regulación se efectúa variando la distancia entre placas y rotores, acción que se realiza mediante tornillos o mediante sistemas hidráulicos*. Es posible modificar la velocidad del rotor para modificar el tamaño de salida, pero esto afecta al desgaste de rotor y placas al aumentar la velocidad.

Como no disponen de sistema antidesgaste, es peligroso para el equipo la presencia de barras o de elementos intriturbables por lo que se hace necesario disponer de eliminadores de anti-intriturbables metálicos a la entrada de los equipos.

La selección de estos equipos se hace en función del tamaño máximo de la alimentación y se estima o se recomienda que en trituración primaria, el rotor sea aproximadamente igual o algo mayor que el tamaño máximo, en trituración secundaria debe ser de 2,5 a 3,5 veces el tamaño máximo.

La capacidad es función del tipo de material a triturar, siendo este efecto mucho más significativo que para otros modelos de trituradoras, y se debe recurrir a la experiencia de los fabricantes. No existen fórmulas de tipo general y se debe recurrir a ensayos.

Referente a la granulometría existe una notable discrepancia y así se considera<sup>22</sup> que el paso por una malla cuadrada igual al reglaje es del 93 al 95% (Hacemag) y otros (Norberg) dan valores de 50 a 80%.

La potencia se calcula correctamente mediante la fórmula de Bond con la utilización de un factor de 1,6 para el cálculo del motor necesario.

### 7.6.6. Altura de alimentación

Un factor de interés para el correcto funcionamiento del equipo lo constituye la altura de alimentación del producto en los sistemas de alimentación por gravedad, ya que este debe penetrar, en su caída, hasta media altura del martillo o percutor para aprovechar adecuadamente el efecto impulsor.

Esta altura se puede estimar mediante la fórmula:

$$H = (R \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot N)^2 / \{3.600 \cdot (\pi \cdot D - N \cdot E)^2 \cdot 2 \cdot g\}$$

Siendo:

H: Altura de caída.

R: Penetración con respecto al martillo (se considera adecuado 1/2 de la longitud).

D: Diámetro exterior barrido por los martillos.

n: Velocidad de rotación en r.p.m.

N: Número de filas de martillos.

E: Espesor de la cabeza del martillo.

Si la alimentación se realiza mediante un plano inclinado, por ejemplo a 45°, hay que multiplicar el valor anterior obtenido por 1,7 para corregir la disminución de la componente vertical del movimiento y considerar el efecto de rozamiento (considerado un 20%).

### 7.6.7. Trituradores de rotores de eje vertical

En esta familia de equipos, el rotor gira en un plano horizontal y el eje tiene una disposición vertical, la alimentación es por gravedad y la evacuación desde el rotor es por la fuerza centrífuga lanzando los materiales contra las áreas o superficies de rotura y saliendo de la máquina por la parte inferior por el efecto de la gravedad.

Estos equipos utilizan velocidades de rotación muy elevadas y no son adecuados para la trituración primaria. Los rotores disponen de guías para dar una componente radial a los materiales que salen disparados con alta velocidad radial.

Existen dos tipos de equipos,

- a) Trituración roca-metal. Lanzan los materiales contra el metal de las partes metálicas del equipo, placas o barras de rotura colocadas en la parte interior periférica de la carcasa y por choque se fragmenta. Una vez fragmentado caen las partículas por gravedad.

<sup>22</sup> Información referenciada en los Apuntes de la ETSI Minas de Madrid. Profesor Ramón Álvarez (1993).



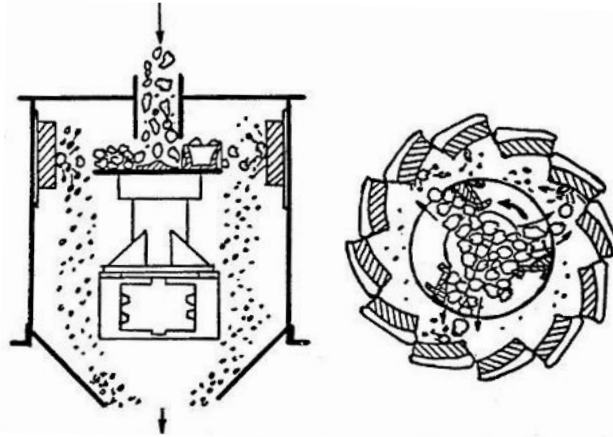


Figura 7.37. Trituradora de eje vertical, roca-metal.

- b) Trituración roca-roca. Lanzan los trozos contra una corriente de roca que desciende, se desplaza verticalmente por el lateral de la máquina, y por choque entre roca con roca se fragmenta. Este diseño limita el mucho el desgaste del equipo.

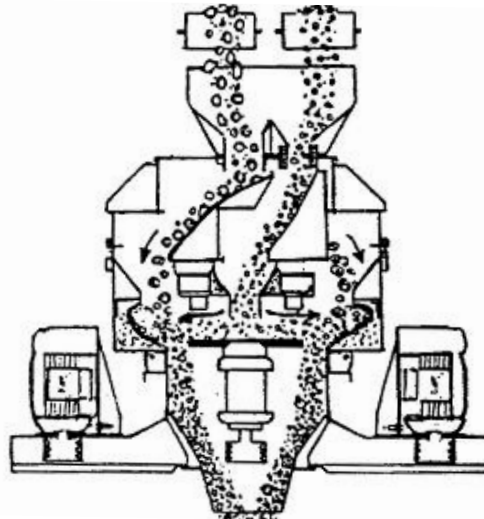


Figura 7.38. Esquema de la trituradora Barmac Duopactor.

Ambos sistemas, por el intenso roce entre material y el disco lanzador, se produce una gran abrasión. Los materiales tienen las características generales correspondientes a este tipo de máquinas en cuanto a índice de forma, relación de reducción alta, rotura más fácil de los trozos mayores que de los pequeños por lo que se iguala la granulometría, etc.

El inconveniente general de esos equipos es el alto consumo de energía ya que la velocidad de lanzamiento debe ser de 60 ó 70 m/s. La forma cúbica de los materiales es muy elevada y por su diseño admite disponer de una carcasa que limita el polvo, incluso se diseñan equipos con inyección de agua pulverizada para limitar el polvo.

El diseño Barman permite reducir la cantidad de finos y el desgaste por fricción del equipo. La capacidad de estos equipos, de eje vertical, es de difícil cuantificación previa, no existen fórmulas de aplicación general. La granulometría depende de la distancia rotor-barreras de golpeo. La fórmula de Bond da una estimación grosera pero se puede utilizar para corregir datos de los fabricantes, adaptar una situación de referencia en los catálogos a otras condiciones de trabajo.

### 7.6.8. Molinos y trituradores de martillos

Estos equipos tienen un campo de trabajo entre la trituración y la molienda y funcionan con un rotor de martillos móviles (mazas) con una rejilla de descarga de paso calibrado. La salida del material se produce cuando este tiene un tamaño adecuado (inferior) al de la rejilla.

La movilidad de las mazas hace de mecanismo anti-intriturable, desplazándose ante un cuerpo grande o de mayor dureza hasta que es molido.

La diferencia entre el funcionamiento como triturador o molino corresponde al material tratado, su dimensión de salida que se regula por la abertura de la rejilla y por la masa de las mazas, mayor cuando trabaja como trituradora y en la velocidad que debe ser muy elevada cuando trabaja como molino, puede llegar a ser de 60 a 90 m/s para productos finos.

Los materiales de dureza superior a 3 en la escala de Moh's o con contenido en sílice superior al 3 ó 5% producen un desgaste muy elevado, no se recomienda su tratamiento en estos equipos.

La capacidad y la potencia del motor se puede estimar utilizando la fórmula de Bond con un coeficiente de 1,6 veces la teórica de la fórmula.

### 7.6.9. Resumen de características de las trituradoras de impacto o percusión

#### a) General:

- Más ligeras, sencillas y baratas que las trituradoras que actúan por compresión.
- Pueden ser de eje horizontal con uno o dos rotores y de eje vertical con un rotor.
- Fuerzas puestas en juego. Choque (impacto); Energía: la energía cinética relativa entre roca y percutor dada por  $E = m \cdot v^2 / 2$ .
- Mucho contacto y frotamiento (abrasión) entre metal y roca, mayor desgaste que limita el uso con rocas abrasivas.
- Limitar el contenido de los *productos abrasivos a valores inferiores al 10% de SiO<sub>2</sub>*.
- El sistema antidesgaste exige aceros especiales (Cr, Mo).
- Recambios rápidos, piezas reversibles y fácil acceso.
- Los costes de desgaste deben incluir el coste de las piezas, la mano de obra y el coste del tiempo de parada.
- Tiene una cámara de trituración amplia, que permite la expansión.
- Relación de reducción elevada  $R_r = 10-30$ , incluso 40 ó 50 lo que permite simplificar los circuitos.
- Gran velocidad periférica.  $v = 15-50$  m/s y hasta 90 m/s.
- Buena forma cúbica de los productos y buena resistencia de los productos triturados.
- Pueden tener uno o dos rotores (tambores de gran inercia) con impulsores o placas intercambiables.
- Placas o barones rompedores (de choque) sujetas por tirantes con muelles y tornillo regulables (a veces hidráulicas) que hacen de sistema anti-intriturables y de regulación.
- Regulación. Es la distancia mínima entre palas y placas.
- Descarga libre, por gravedad. Pueden disponer de una criba en salida, si es necesario, que limita el producto de salida hasta que no tiene un tamaño menor al de la rejilla.
- Diámetro del rotor. Tanto el primario como el secundario, de tamaño muy superior al  $D_{max}$  del producto de la alimentación.
- Capacidad. Según tablas o datos facilitados por el fabricante.
- Potencia. Se calcula mediante la fórmula de Bond con un coeficiente de  $f = 1,6$ .
- El tratamiento de bloques mayores implica mayores máquinas y menor velocidad.

**b) Trituradoras de eje vertical:**

- Disponen de un rotor horizontal de palas o álabes girando a gran velocidad.
- Limitar el contenido de los *productos abrasivos a valores inferiores al 10% de SiO<sub>2</sub>*.
- Excesivo desgaste del rotor por el roce roca-metal.
- Excesivo consumo de energía.
- Un equipo especial lo constituye el Duopactor. Este equipo lanza (proyecta) parte de la alimentación fragmentada en un rotor contra un segundo paso del mineral produciendo un choque mineral-mineral. Se disminuye el desgaste y baja el consumo.

**c) Trituradoras o molinos de martillos:**

- Tiene un rotor con martillos articulados en la base (actúa por la energía cinética del martillo). El martillo retrocede por granos demasiado grandes o por intriturables.
- Velocidad muy elevada hasta 60 m/s o mayores.
- Limitar el contenido de los *productos abrasivos*:
  - *Trituración secundaria, valores inferiores al 5% de SiO<sub>2</sub>*.
  - *Trituración terciaria, valores inferiores al 2% de SiO<sub>2</sub>*.
- Regulación por rejilla en la parte inferior. Estos equipos cuando trabajan en el escalón de la molienda, tratamiento de tamaños pequeños normalmente inferiores al cm, siempre disponen de rejilla en salida.
- Capacidad. Mediante tablas o datos de los fabricantes.
- Potencia. Mediante la fórmula de Bond con un coeficiente de  $f = 1,6$ .

### Folleto de fabricante: Trituradora de Impacto

Trituradora de impacto se utiliza principalmente en la trituración de bloques grandes, medianos y pequeños de roca o piedra. Los productos finales son con formas cúbicas y son los equipos ideales para la industria de la construcción y la obra civil. El material entra en los rotores, los listoncillos fijos recogen el material a triturar y lo machacan proyectándolo contra la palanca inferior y superior.

#### Características de la Trituradora de Impacto

1. Los productos finales son cúbicos.
2. Versatilidad para trabajar con materiales calizos o materiales abrasivos.
3. Coeficiente excelente de forma del material triturado.
4. El martillo está hecho de alto cromo.
6. Más adecuado para la trituración de material duro.



#### Especificaciones de la Trituradora de Impacto

Modelo	Especificación	Tamaño alimentación (mm)	Máximo tamaño de grano (mm)	Capacidad (t/h)	Potencia de Motor (Kw)	Peso (T)
PF1007	Φ1.000 × 700	400 × 730	300	15-30	37	6
PF1010	Φ1.000 × 1.050	400 × 1.080	350	50-80	75	12.5
PF1210	Φ1.250 × 1.050	400 × 1.080	350	70-130	110	16.5
PF1214	Φ1.250 × 1.400	400 × 1.430	350	90-180	132	19
PF1315	Φ1.320 × 1.500	860 × 1.520	500	120-250	200	24
PF1320	Φ1.320 × 2.000	860 × 2.030	500	160-350	260	27

#### Folleto fabricante: Especificaciones de la trituradora de impacto vertical

Modelo	Velocidad de impulsor (r/min)	Máximo grano de entrada (mm)	Potencia	Peso (incluye el motor) (t)	Cantidad de tratamiento (t/h)	Dimensiones de Caja (mm)
PCL-600	2.000-2.600	30	2 × 30	5,6	10-30	2.800 × 1.550 × 2.030
PCL-750	1.600-2.100	35	2 × 45	7,5	30-50	3.300 × 1.800 × 2.440
PCL-900	1.300-1.700	40	2 × 55	12	50-80	3.750 × 2.120 × 2.660
PCL-1050	1.100-1450	45	2 × 110	16	70-120	4.480 × 2.450 × 2.906
PCL-1250	950-1.200	45	2 × 132	22	80-150	4.563 × 2.650 × 3.176
PCL-1350	900-1.200	50	2 × 160	26	120-200	5.340 × 2.940 × 3.650

### Folleto fabricante: Trituradora de Impacto (Trituradora con turbina de sobrepresión)

La trituradora de impacto que fabricamos se utiliza principalmente para el proceso de trituración secundaria y trituración fina para las minas y piedras. Se trata de equipo ideal y adecuado que se usa en las operaciones de trituración de la segunda clase en fábricas de trituración de magnitud grande e intermedia.

Nuestra trituradora (trituradora de Impacto) puede manejar las materiales de grueso, medio y multa (granito, caliza, concreto, etc.), con la limitación de 500 mm y la resistencia a compresión menor de 350 MPa.



#### Características de la Trituradora de Impacto

Alto rendimiento de trituración. Después de triturar los materiales, éstos se presentan como unos objetos cúbicos. Funcionamiento fiable. Bajo costo de funcionamiento.

#### Parámetro de Funcionamiento

Modelo	Especificación	Dimensión de boca de entrada (mm)	Tamaño máximo de grano (mm)	Capacidad de producción	Potencia de Motor (kw)	Peso (t)
PF-1007	Φ1.000 x 700	400 x 730	< 250	15-60	37-55	915
PF-1010	Φ1.000 x 1.050	400 x 1.080	350	50-80	55-75	13
PF-1210	Φ1.250 x 1.050	400 x 1.080	350	80-120	110-132	14,1
PF-1214	Φ1.250 x 1.400	400 x 1.430	350	100-160	132-160	18,6
PF-1315	Φ1.320 x 1.500	860 x 1.520	500	150-220	180-260	19,3

### Folleto fabricante: Trituradora de martillo



La trituradora de martillo aprovecha la alta velocidad de rotación contra los materiales para romper. Tiene una estructura simple, proporción grande y eficiencia muy alta.

La trituradora puede usar ampliamente en la minería, cemento, carbón, metalurgia, materiales de construcción, caminos etc. El equipo puede ajustar el tamaño de centro para cambiar las materiales terminadas según las necesidades de los usuarios.

bien las materiales terminadas según las necesidades de los usuarios.

#### Parámetro de Funcionamiento

Modelo	Tamaño de alimentador (mm)	Tamaño de salida (mm)	Capacidad (t/h)	Motor		Peso (t)
				Modelo	KW	
PCΦ400 × 300	≤ 200	≤ 25	8-15	Y160M-4	11	0,8
PCΦ500 × 350	≤ 210	≤ 25	12-20	Y180M-4	18,5	1,2
PCΦ600 × 400	≤ 250	≤ 30	15-30	Y180L-4	22	1,5
PCAΦ800 × 600	≤ 300	≤ 30	25-50	Y250M-4	55	2
PCΦ800 × 600	≤ 200	≤ 25	20-50	Y280M-6	55	2,6
PCΦ1.000 × 800	≤ 300	≤ 35	30-65	Y315S-6	75	4
PCΦ1.000 × 1.000	≤ 300	≤ 35	45-80	Y315M-6	90	6
PCH0606	≤ 200	≤ 15	18-30	Y132M-6	30	2
PCH0808	≤ 250	≤ 15	30-50	Y280S-6	45	4,5
PCH1010	≤ 300	≤ 15	45-80	Y315M-6	90	6,5

email: [webmaster@zenithdream.com](mailto:webmaster@zenithdream.com)

### 7.6.10. Circuitos de trituración

Los circuitos de trituración y de molienda son una combinación en serie y paralelo de trituradores, clasificadores, silos, cintas, sistemas de control, etc., que en general representan fuertes inversiones.

Se adaptan al mineral, al mercado por capacidad, a la posibilidad de fluctuaciones del mineral o del mercado en el tiempo, por lo que deben disponer de capacidad de adaptación, y su diagrama de flujo (flowsheet) debe permitir elegir adecuadamente cada máquina.

Actualmente cada planta, especialmente las de producción de áridos, se diseñan para elaborar una amplia gama de productos granulométricos que permiten, por mezcla posterior, atender las necesidades de cada cliente.

Para los elementos más caros, trituradoras y cono trituradores, se suele reducir el número al mínimo necesarios que asegure el funcionamiento, y para los elementos menos resistentes o propensos a averías por su diseño, como es el caso de las cribas, se suele disponer de silos de almacenamiento previo para evitar la parada de toda la línea de producción.

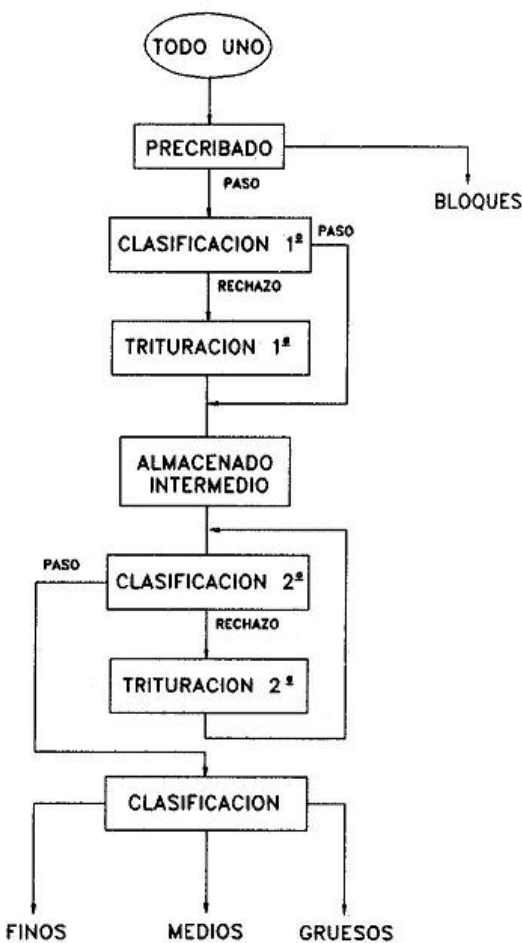


Figura 7.39. Esquema de bloques de una planta de trituración primaria y secundaria y clasificación en seco (circuito cerrado).

La disposición de eliminadores de elementos intriturbables en el circuito, tipo electroimanes, además de los propios sistemas de las equipos principales, es obligado para no forzar estos mecanismos en los conos o trituradoras.

La responsabilidad correspondiente a la explotación de estos sistemas, la sensibilidad adecuada con el personal que los maneja así como la legislación en materia de seguridad e higiene hace necesario y obligado la disposición de elementos de protección contra el ruido, polvo, vibraciones, elementos de seguridad en los equipos ante caídas, bandas de protección en los elementos móviles, protecciones para evitar atrapamientos imprevistos, y así una serie de medidas indicadas en la legislación y aconsejadas de forma técnica que son hoy en día obligadas en los sistemas y circuitos de trituración.

El control adecuado del funcionamiento por las fuertes inversiones realizadas, y los costes inherentes al funcionamiento hace necesario disponer de controles en las instalaciones entre los que podemos citar, al menos, los siguientes:

- Tonelajes de entrada.
- Tonelajes de salida por productos.
- Niveles en las tolvas.
- Producciones horarias y por turno de los equipos principales.
- Cargas circulantes.
- Consumo en potencia máxima y energía de los trituradores, conos y molinos.
- Regulación de los equipos y su relación con producción.
- Oscilaciones del producto con relación a las regulaciones y la alimentación.

- Históricos de funcionamiento y valores acumulados (acumular experiencia).
- Modificaciones en regulación y su efecto sobre el sistema y productos.
- Variables específicas del mercado local.
- Toma de muestras automático. Este sistema y su estudio en el tiempo es vital para controlar la calidad del producto, identificar anomalías en el funcionamiento de la instalación como puede ser una criba perforada, modificaciones en el factor de forma por intritrables excesivos, regulación descompensada, etc.

Para el diagrama de flujo incluido anteriormente, se da a continuación el pictograma del sistema, con producción de bloques, gruesos, medios y finos.

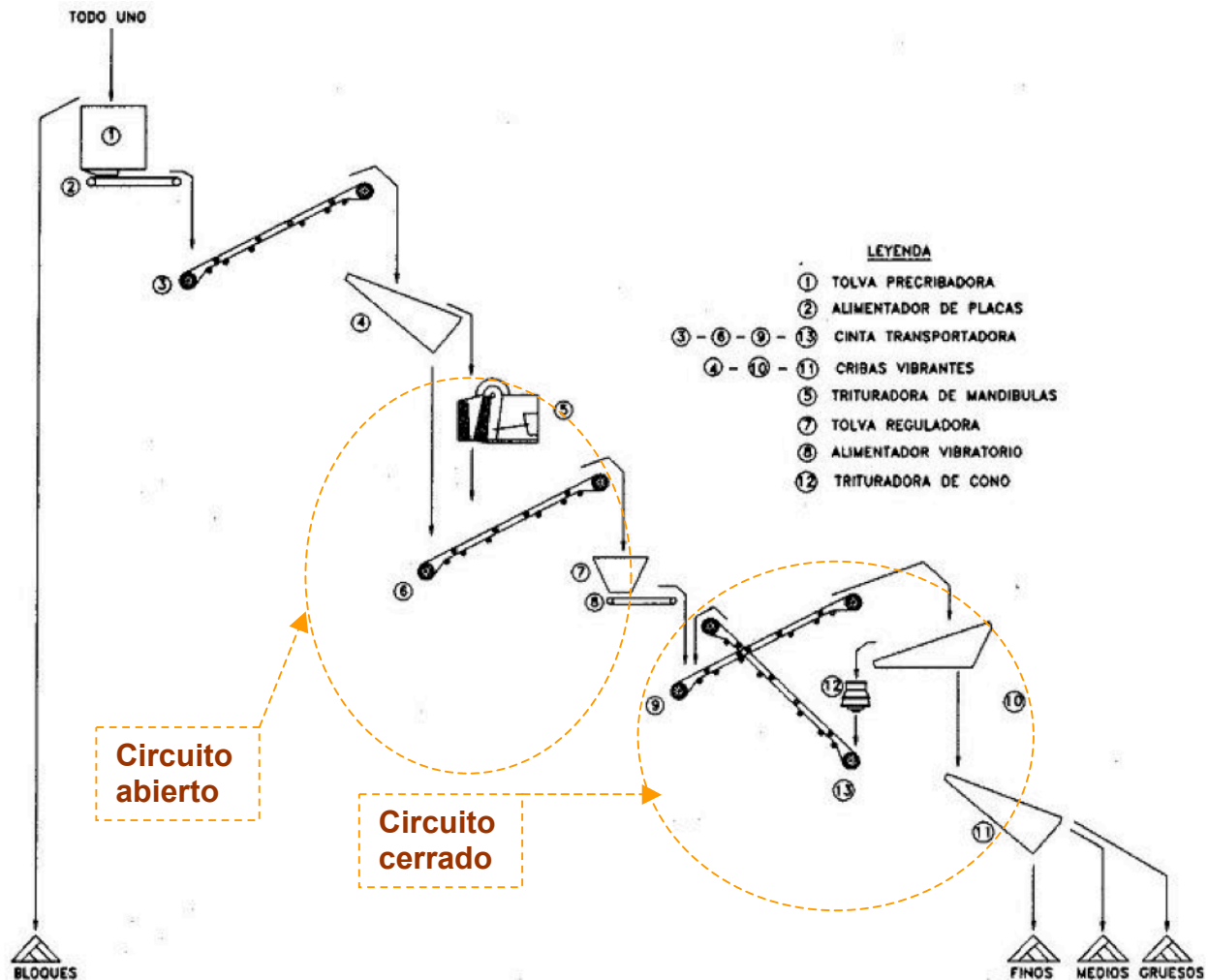


Figura 7.40. Esquema pictográfico de una planta de trituración primaria y secundaria, clasificación en seco.

En expedición, por mezcla de productos, se pueden conseguir las granulometrías adecuadas al cliente o a especificaciones.

El diagrama siguiente corresponde a una instalación de alta producción, trabajando en circuito abierto, con equipos en paralelo en las secciones más expuesta, para asegurar la continuidad del proceso ante averías. El equipo principal en cabeza, una trituradora giratoria, normalmente, es robusta y soporta programaciones de reparación a intervalos definidos. La regulación del producto se efectúa por los equipos de conos trabajando con cribas vibratorias.

