

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN

EQUIPOS QUE TRABAJAN A COMPRESIÓN.

(De acción alternativa)

3.1. Machacadoras de mandíbulas.

Tipo Blake o De Doble Efecto:

Son los equipos de trituración de minerales más antiguos (EE.UU (1858)), capaces de machacar minerales de gran tamaño y dureza.

La figura 3.1 muestra el corte esquemático de este tipo de máquinas. La **mandíbula móvil (1)**, da lugar a un balancín articulado en su parte superior, que está sólidamente fijado al bastidor.

A través del movimiento de la **biela (3)**, por efecto de la **excéntrica (5)**, la mandíbula móvil se aproximará y alejará de la **mandíbula fija (2)**, triturando el mineral.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

El movimiento de la biela transmite a la mandíbula móvil el movimiento de oscilación a través de las **placas de articulación (4)**.

Los extremos de las placas se apoyan sobre semi-cojinetes de acero extraduro, embutidos en el pie de la biela, en el pie del balancín y en la **corredera** (punto de apoyo fijo).

Sobre la corredera se puede actuar, a través de un sistema mecánico o hidráulico, desplazándola tanto vertical como horizontalmente, regulando de esta forma la amplitud de la carrera, abertura de salida de la trituradora, y disminuir efectos de desgaste sobre mandíbula y articulaciones.

La varilla y los resortes de recuperación (6), mantendrán el sistema de articulaciones en su posición durante la operación de trituración.

La fuerza que origina el movimiento de los mecanismos descritos anteriormente, es proporcionada por grandes **volantes** de acero fundido, los cuales son accionados por motores eléctricos a través de la transmisión de correas trapezoidales.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

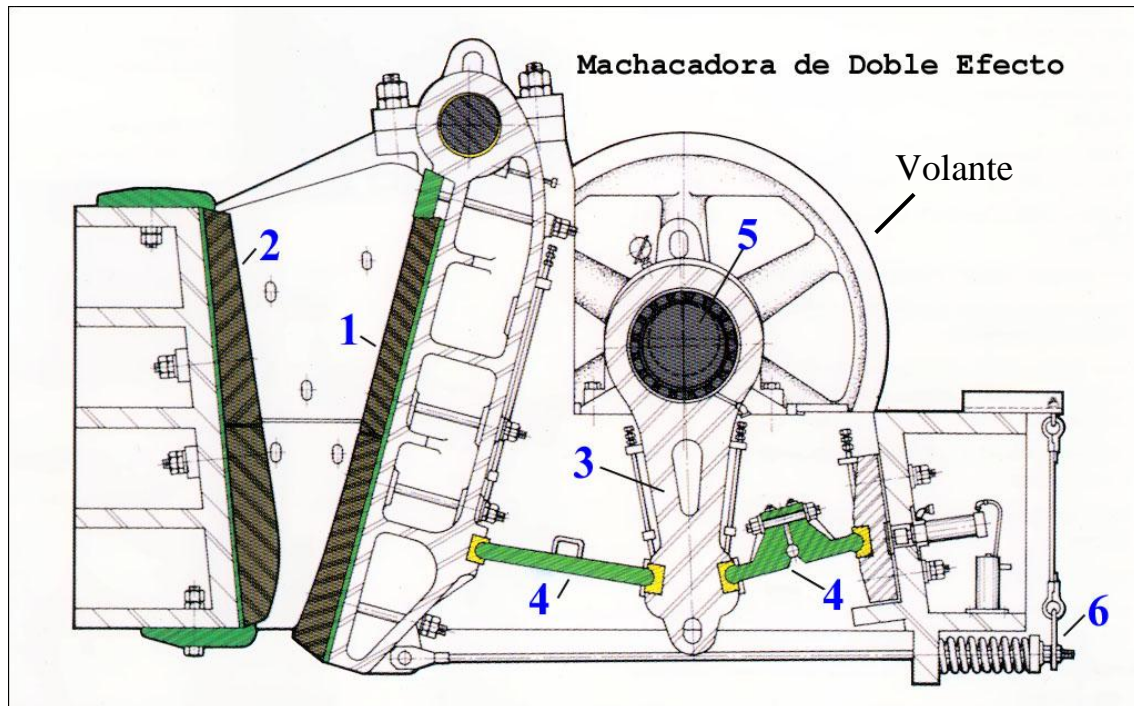


Fig.3.1: Corte esquemático de trituradora de doble efecto (Cortesía Fuller-Traylor).

Principales partes de una Trituradora tipo Blake

- **Bastidor o Carcasa.**
- **Cámara de Trituración.**
- **Revestimientos de desgaste.**
- **Sistema mecánico de accionamiento.**

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

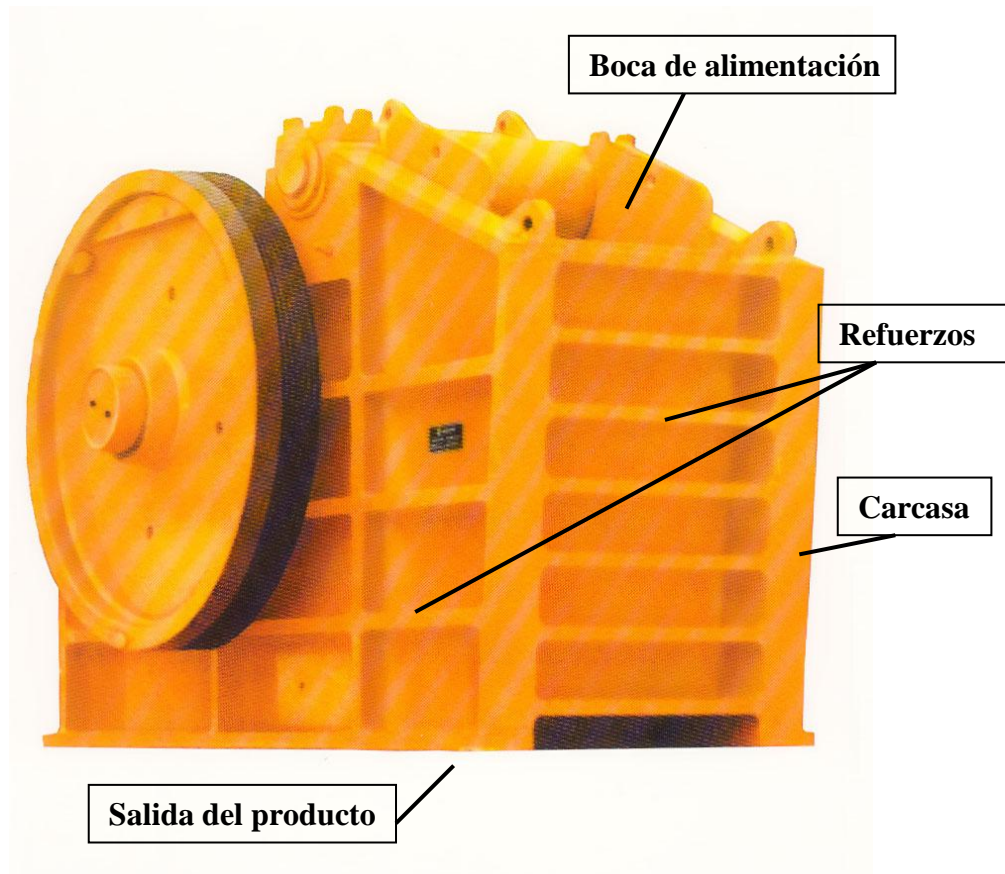


Fig. 3.2: Trituradora tipo Blake (Cortesía de Aubema).

Bastidor: Va a constituir el soporte de los elementos de trituración. Con el tiempo se ha ido desarrollando para soportar los grandes esfuerzos y vibraciones que se producen.

Está constituido por chapas de acero laminadas de gran espesor, electrosoldadas y con nervios de refuerzo para evitar deformaciones.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Los laterales se protegen con chapas o forros de acero al manganeso intercambiables.

Cámara de Fragmentación: Viene definida por el espacio comprendido entre las mandíbulas móvil y fija y las placas laterales antidesgaste. Es donde tienen lugar los fenómenos de fragmentación.

Esta cámara tiene forma angular debido a la disposición de las dos mandíbulas que normalmente forman un ángulo de aproximadamente 27° .

Revestimientos: Son planchas o placas intercambiables, fabricadas normalmente por aceros al manganeso de gran resistencia.

Permiten ser acopladas a la cara exterior de las mandíbulas por medio de sistemas de fijación. Pudiendo invertirse su colocación (reversibles) para equilibrar el desgaste y optimizar su aprovechamiento.

Dependiendo del tipo de roca a triturar, los revestimientos adoptan diferentes formas y tamaños:

- **Dientes en forma de pico** (estrías verticales): Materiales de dureza media.
- **Dientes ondulados** (estrías verticales): Materiales duros.
- **Revestimientos lisos:** Materiales extremadamente duros.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.



Fig. 3.3: Piezas antidesgaste y de mandíbula de una trituradora
(Fuente: www.qmsupplies.co.uk).

Sistema de accionamiento: Es el formado por aquel conjunto de elementos mecánicos que, mediante su movimiento interrelacionado, van a hacer que las mandíbulas trituren el mineral.

El sistema o conjunto de accionamiento estará formado por: el volante, la biela, las placas de articulación, los resortes, el motor, las correas, la excéntrica, la pieza porta-mandíbulas móvil y los cojinetes. Elementos comentados anteriormente.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Diferentes tipos de Trituradoras de doble efecto.

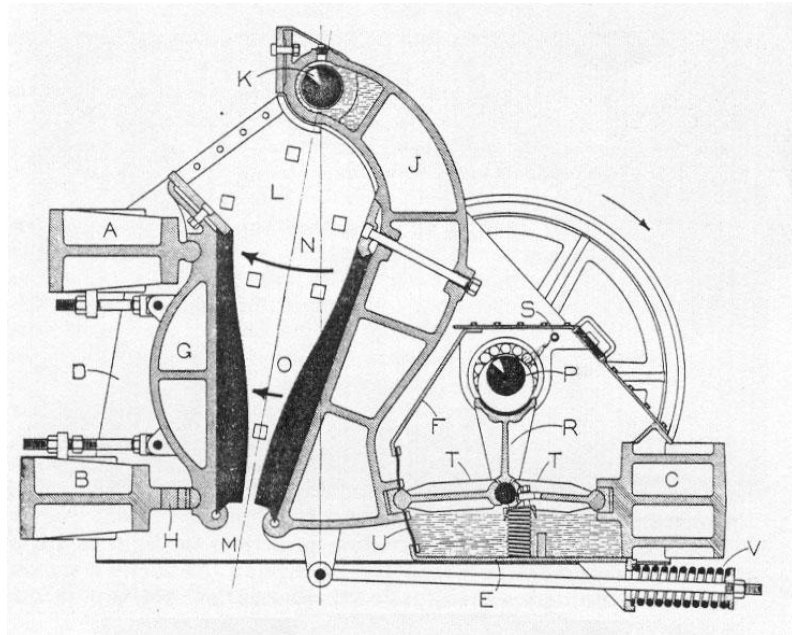


Fig. 3.4: Trituradora tipo "Kue-Ken" (Blanc, 1975).

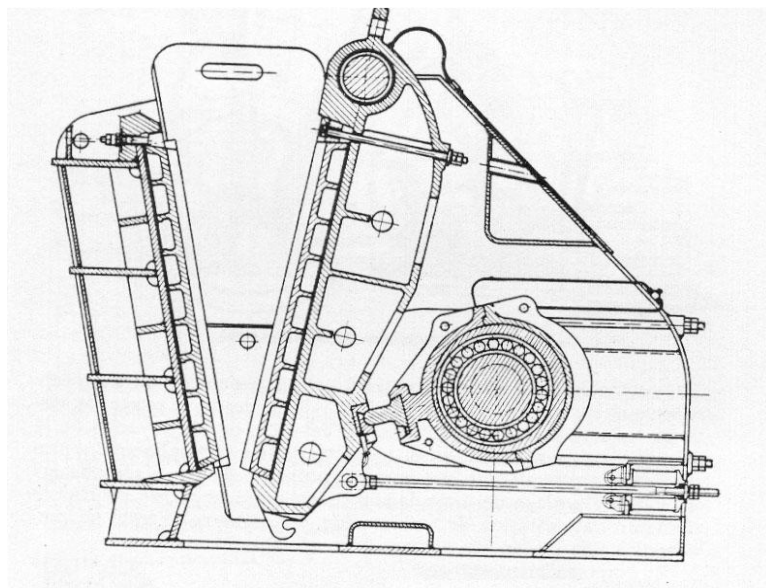


Fig. 3.5: Trituradora de accionamiento directo (Blanc, 1975).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

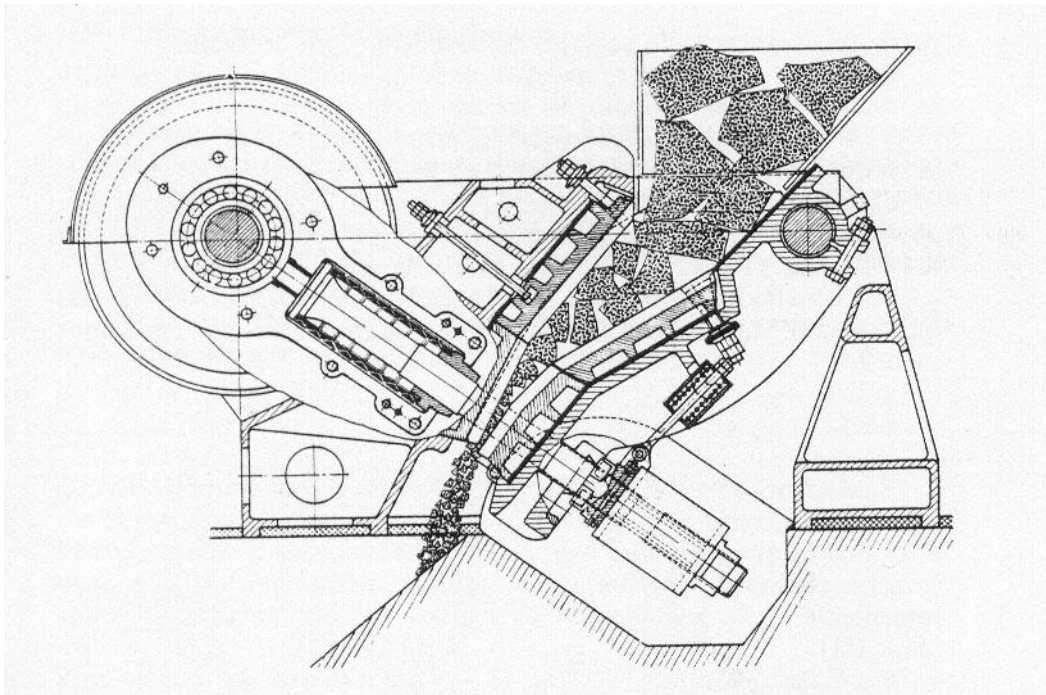


Fig. 3.6: Trituradora de cámara inclinada (Blanc, 1975).

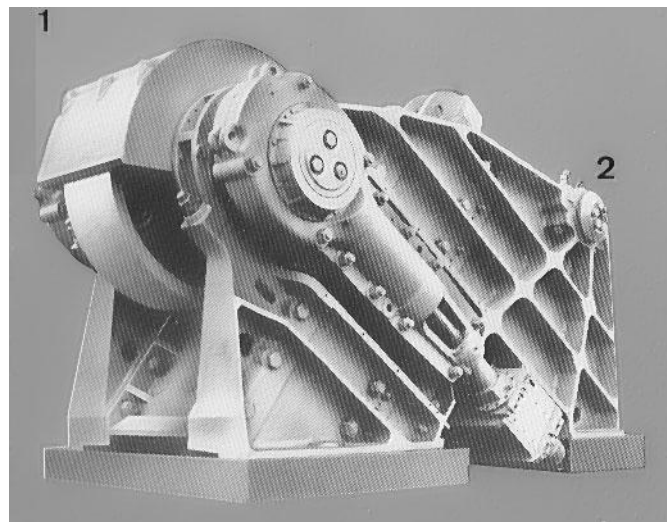


Fig. 3.7: Trituradora de cámara inclinada (Cortesía Krupp).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Disposición típica de una instalación
primaria de machaqueo.

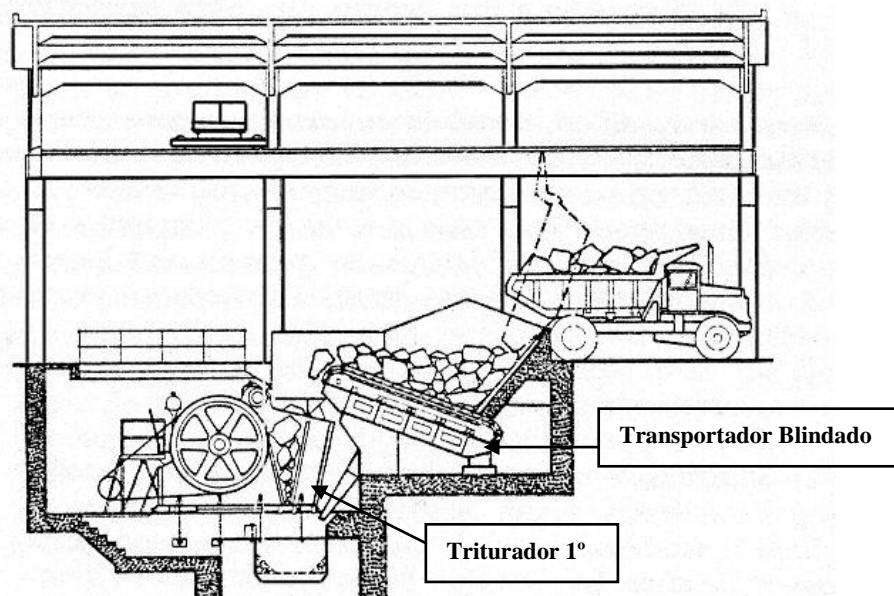


Fig. 3.8: Instalación de Trituración Primaria (Blanc, 1975).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Tipo Dodge:

Estas trituradoras son accionadas por una excéntrica unida a una prolongación de la mandíbula móvil. La mandíbula móvil posee un punto de giro situado en su parte inferior, siendo como es lógico la carrera máxima a la entrada de la alimentación y mínima a la salida. (ver figura 3.9).

Son equipos muy simples desde el punto de vista mecánico.

En comparación con las trituradoras comentadas anteriormente, proporcionan una elevada relación de reducción (10:1).

Tienen el inconveniente de un alto consumo de energía por tonelada tratada y posibilidad de atascos. Actualmente están en desuso.

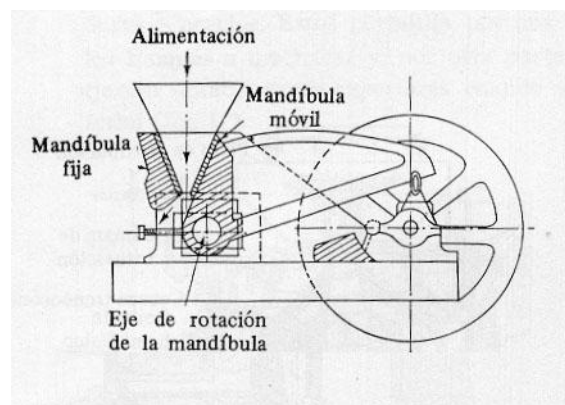


Fig. 3.9: Trituradora Dodge (ETSIMO, 1969).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradoras de Simple Efecto:

Estos equipos aparecieron 25 años después de la aparición del Triturador Blake. Actualmente se ha generalizado su uso debido a sus ventajas respecto a los primeros. Ventajas que comentaremos posteriormente.

En este tipo de equipos la **pieza porta-mandíbulas móvil (D)** (ver figura 3.10) se encuentra articulada directamente sobre el **eje excéntrico (3)**, que está situado encima de la boca de alimentación de la trituradora.

El movimiento de la parte inferior de la pieza porta-mandíbulas móvil, está controlado por una única **placa de articulación (4)**, que está embutida al pie de la pieza porta-mandíbulas y de la corredera por medio de cojinetes semi-esféricos.

Al igual que en la de Doble Efecto, dispone de un **resorte de recuperación (5)**, para mantener la placa de articulación en su posición de trabajo y regular la salida del producto.

Tanto en la pieza porta-mandíbulas móvil como en la **pieza porta-mandíbulas fija (B)**, existen **elementos de fijación (C)**, para acoplar los **revestimientos de las mandíbulas (2) y (1)** y de los laterales y formar la **Cámara de trituración (A)**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

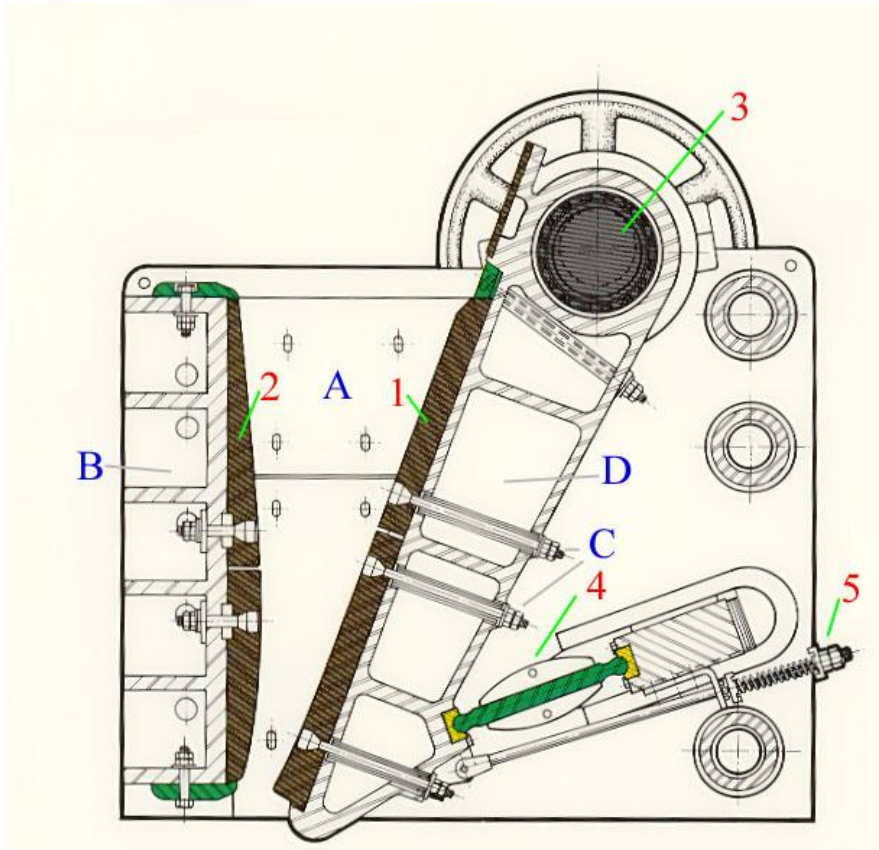
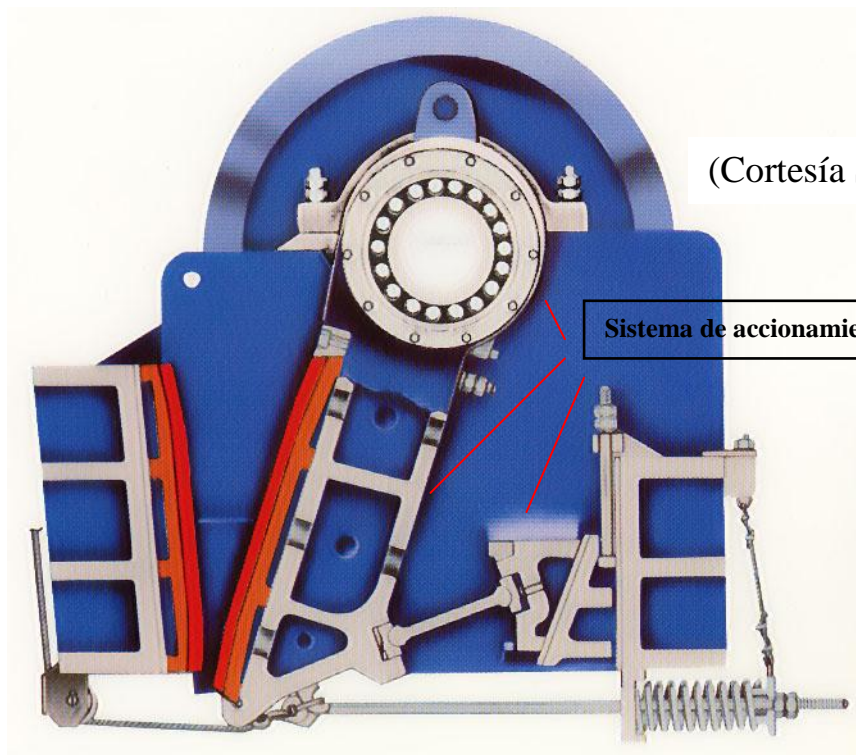


Fig. 3.10: Cortes de una trituradora de Simple Efecto (Cortesía Fuller-Traylor).



(Cortesía Svedala)

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Principales partes de una Trituradora de Simple Efecto

Al igual que en las de tipo Blake, las partes principales son las siguientes:

- **Bastidor o Carcasa.**
- **Cámara de Trituración.**
- **Revestimientos de desgaste.**
- **Sistema mecánico de accionamiento.**



Fig. 3.11: Trituradora de Simple Efecto (cortesía de Svedala).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Movimiento del porta-mandíbulas móvil.

- ⇒ En la zona superior próxima al eje excéntrico, el movimiento de la pieza porta-mandíbulas es **circular**, efectuándose la fragmentación por fuerzas de **compresión**.
- ⇒ En la zona inferior próxima a la salida de la máquina, el movimiento de la pieza porta-mandíbulas es **elíptico**. Por lo tanto la fragmentación se efectúa por medio de fuerzas de **fricción** (evitan el atasco del material).
- ⇒ En la zona intermedia, existe un movimiento intermedio entre elíptico y circular. Produciéndose la fragmentación por compresión y por fricción.
- ⇒ En las máquinas tipo Blake el movimiento de la mandíbula móvil es circular, luego las fuerzas de fragmentación que aparecen son fundamentalmente compresión.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

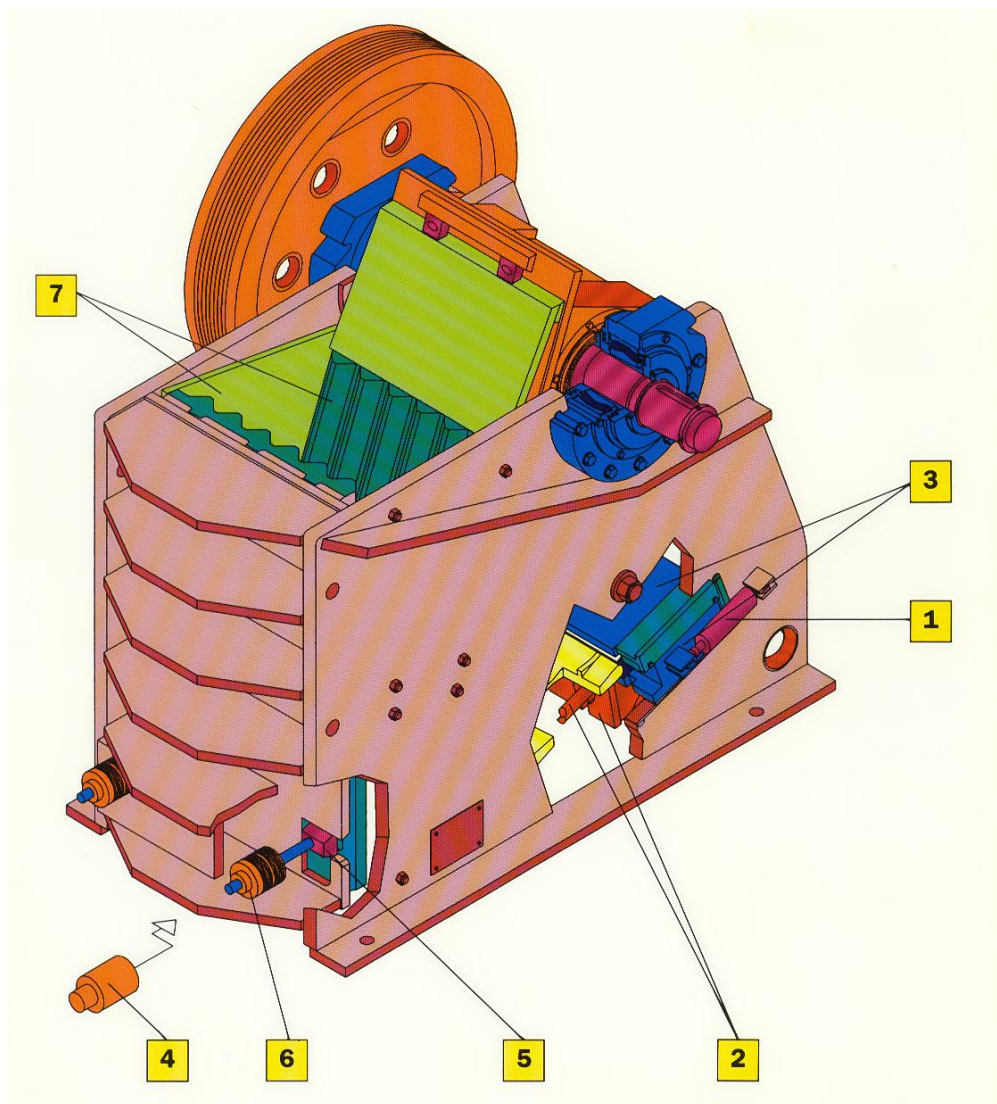


Fig. 3.12: Corte de una Trituradora de Simple Efecto
(Cortesía Dragon Babbitless)

- 1 Cilindro hidráulico de doble efecto.
- 2 Sistema de retroceso de la biela.
- 3 Corredera.
- 4 Gato hidráulico de desmontaje de mandíbulas.
- 5 Cuñas de bloqueo (sistema de fijación).
- 6 Arandelas elásticas.
- 7 Juego de mandíbulas y blindajes laterales.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Comparación entre las trituradoras de Simple Efecto y las trituradoras de Doble Efecto.

Tabla 3.1: Comparación entre trituradoras de mandíbulas.

Característica	Máquina favorable
Peso de la máquina	Doble Efecto = 1.3-1.4 Simple Efecto
Precio	Doble Efecto = 1.25 Simple Efecto
Capacidad	Simple Efecto = 1.3 Doble Efecto
Razón de reducción	Simple Efecto
Desgaste de mandíbulas	Simple Efecto = 2 Doble Efecto

- En **trituration primaria**, la forma del producto que dan ambos tipos de máquinas es similar.
- En **trituration secundaria**, las trituradoras de simple efecto dan un producto más cúbico que las de doble efecto.
- Las trituradoras de simple efecto se han impuesto frente a las trituradoras de doble efecto. Éstas últimas únicamente se emplean para la trituración de minerales extremadamente duros y muy abrasivos.





BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Dureza y Abrasividad.

En trituración la dureza se entiende como la resistencia a compresión de una roca.

Atendiendo a lo anterior los materiales los podemos clasificar como:

-  **Materiales Blandos** ($< 1000 \text{ kg/cm}^2$): asbestos, yeso, pizarra, carbón, sales, talco, caliza blanda, cal.
-  **Materiales Medios** ($1000-1500 \text{ kg/cm}^2$): caliza, dolomía, arenisca, bauxita.
-  **Materiales Duros** ($1500-2000 \text{ kg/cm}^2$): cuarcita, granito, diorita, gabro, andesita, basalto, clinker.
-  **Materiales Muy Duros** ($> 2000 \text{ kg/cm}^2$): granito, taconita, grava granítica, ferroaleaciones.

Un mineral se clasifica como **abrasivo** cuando contiene $\geq 6 - 8 \%$ de **sílice libre** o **pirita**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Dimensionado de una Trituradora de Mandíbulas

Para dimensionar una trituradora de mandíbulas los parámetros que hay que estudiar son los siguientes:

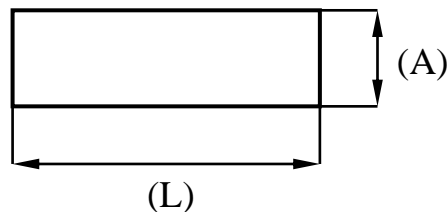
1. $D_{\text{máx.}}$ y Boca de Admisión.
2. Capacidad y Reglaje.
3. Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
4. Potencia absorbida y Potencia motor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

1. $D_{\text{máx.}}$ y Boca de Admisión.

La boca de admisión de una trituradora queda definida por las dimensiones del ancho de la boca (A) y el largo de la boca (L).



Para no tener problemas con la entrada de fragmentos grandes a la trituradora, ésta se debe cumplir que:

$$D_{\text{máx.}} = 0.8 \cdot A \quad (3.1)$$

El ancho y el largo de boca están relacionados por la siguiente expresión:

$$L = (1.5 - 2) \cdot A \quad (3.2)$$

El $D_{\text{máx.}}$ se obtiene:

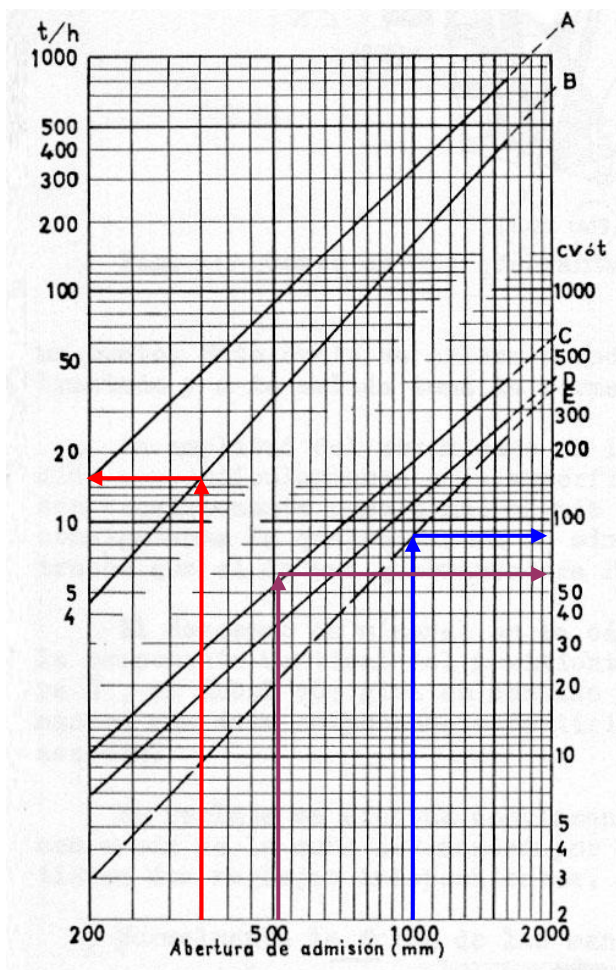
- Obtenido por precibado previo (parrillas).
- Por medio de ábacos que relacionan el $D_{\text{máx.}}$ con la capacidad del cazo (m^3).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

La capacidad de una trituradora de mandíbulas la podemos obtener por medio de:

- ⇒ **Ábacos.**
- ⇒ **Tablas** (proporcionadas por los fabricantes de equipos).
- ⇒ **Fórmulas empíricas.**

Ábacos



A: Capacidad (t/h) para un reglaje igual a $\frac{1}{4}$ A

B: Capacidad (t/h) para un reglaje igual a $\frac{1}{8}$ A

C: Potencia instalada máxima en CV.

D: Potencia instalada media en CV.

E: Peso de la Trituradora en t.

Fig. 3.13: Ábaco de características (ETSIMO, 1969).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

El ábaco de la figura 3.13, nos proporciona la capacidad de una trituradora tipo Blake (doble efecto) para minerales de densidad aparente 1.6 t/m^3 , cumpliéndose que $L = 1.5 \cdot A$ (ver ecuación 3.2) y los mayores fragmentos de la alimentación no sobrepasan el valor de $0.8 \cdot A$.

Tablas de características técnicas.

La capacidad de una trituradora de mandíbulas puede calcularse por medio de las tablas que proporcionan los fabricantes de equipos. Teniendo en cuenta el tipo de material que se ha empleado para los ensayos.

Tabla 3.2: Trituradoras de Doble Efecto (Blanc, 1975)

Dimensiones de entrada m/m L - A	Producciones medias en toneladas				R=Reglaje		Motor r.p.m. Reco- mendado kW	Peso Kgs.	
	R min. m/m	Tm.	R medio m/m	Tm.	R máximo m/m	Tm.			
350 × 225	25	3 à 4,5	40	7,5 à 9	70	9 à 11	350	10	2 500
450 × 275	25	6 à 7,5	40	9 à 11	70	15 à 20	320	20	4 000
550 × 325	40	12 à 18	70	25 à 35	100	40 à 50	300	30	6 000
650 × 400	70	38 à 45	100	52 à 60	120	55 à 70	270	40	11 500
800 × 500	70	50 à 60	100	70 à 80	100	80 à 100	250	50	18 500
1 000 × 700	80	60 à 90	125	90—120	150	120—150	220	70	35 000
1 250 × 700	90	75—110	125	110—150	150	150—200	220	75	40 000
1 250 × 900	100	100—120	150	150—200	200	190—225	170	90	60 000
1 600 × 900	100	135—160	150	210—240	200	225—300	170	100	67 000
1 400 × 1 070	125	150—186	175	190—225	225	250—300	150	115	82 500
2 000 × 1 070	135	200—250	175	270—315	225	375—430	150	125	100 000
1 600 × 1 250	150	200—266	200	260—300	250	375—415	132	135	117 000
2 000 × 1 250	150	260—335	200	335—390	250	495—540	132	150	129 000
2 000 × 1 600	200	375—450	250	450—495	300	495—555	112	200	230 000
2 500 × 1 600	250	600—650	300	720—800	350	800—1 000	112	260	250 000

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Tabla 3.3: Trituradoras de Simple Efecto (Blanc, 1975)

Dimensiones de entrada m/m	Producciones medias en toneladas						Motor recomendado R.P.M. kW		Peso Kgs.
	R min. m/m	Tm.	R medio m/m	Tm.	R máximo m/m	Tm.			
350 × 225	25	4-5	50	7-9	70	10-12	400	6	1 600
450 × 300	25	7-9	60	10-14	90	13-18	360	15	2 600
550 × 350	30	10-15	60	15-25	90	20-40	340	25	5 500
650 × 400	35	15-25	60	30-55	100	55-85	300	32	8 500
800 × 600	45	20-30	75	45-65	110	70-100	280	40	13 000
1 000 × 700	75	65-85	140	100-140	200	130-180	260	80	22 000
1 100 × 900	90	120-240	140	150-270	200	175-350	250	100	35 000
1 250 × 1 000	100	150-300	150	190-350	200	230-450	240	115	47 000
1 400 × 1 100	110	200-400	150	250-500	200	300-600	220	125	60 000
1 600 × 1 300	120	300-550	170	350-650	220	460-800	200	150	185 000
2 000 × 1 250	125	350-600	200	375-750	280	450-900	175	165	100 000
600 × 150 *	25	9-11	45	11-16	65	15-22	360	18	2 800
800 × 225 *	25	12-18	45	16-25	65	22-35	330	30	4 900
1 000 × 275 *	25	16-22	45	22-30	65	30-40	300	50	9 500

Tabla 3.4: Trituradoras de Simple Efecto (Cortesía Svedala)

Capacidad de producción (t/h - stph) - circuito abierto

MODELO	BOCA DE CARGA mm pul	ABERTURA DE SALIDA EN LA POSICIÓN CERRADA													
		6	13	19	25	38	50	64	75	89	100	115	125	140	
		1/4	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	
BRITADORES PRIMARIOS	2015	200x150	2,4-3,2	3,2-4,8	4,8-6,4	6,4-8	8-10,4								
		8x6	2,6-3,5	3,5-5,3	5,3-7,1	7,1-9	8,8-11,5								
	3020	300x200			8-10,4	9,6-13	13-16	16-21							
		12x8			8,8-11,5	10,7-14	14-18	18-23							
	4230	420x300			11-13	13-16	16-21	19-24	21-29	24-32					
		16x12			12-14	14-18	18-23	21-27	23-32	27-36					
6240	620x400				27-35	35-46	45-56	54-68	62-80	67-83	70-87				
	24x16				30-39	39-52	50-62	60-75	69-89	75-92	77-97				
REBRITADORES	8013	800x130	6,4-8	10,4-13	14-19	19-26									
		32x5	7,8-8	11,5-15	16-21	21-29									
	9026	900x260			27-35	32-42	48-60	60-76	72-93						
		35x10			30-39	35-46	53-67	66-85	80-103						
	12040	1200x400						87-124	104-136	118-153	132-168	157-203	176-227	189-246	200-260
	47x16						97-138	115-151	131-170	147-187	174-225	195-252	210-273	222-288	

Las dimensiones y pesos indicados son aproximados y puramente a título informativo. Para instalación/montaje, Svedala suministra diseño certificado. Las capacidades y tamaños de los productos mostrados en este folleto representan valores promedio obtenidos en la trituración de rocas graníticas, sin arcilla y con tenor de humedad inferior al 5% con Work Index de 14 kWh/t y peso específico aparente de 1,6 t/m³. Para aplicaciones específicas, consulte Svedala.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Fórmulas empíricas.

La capacidad de una trituradora se puede obtener a través de las siguientes expresiones, que no son las únicas pero sí las más conocidas y empleadas:

Taggart

$$T = 0.6 \cdot L \cdot (s + t) = 0.6 \cdot L \cdot r \quad (3.4)$$

Donde:

- T = Capacidad de la máquina (sht).
- L = Longitud de la máquina (pulgadas).
- r = reglaje de la máquina (pulgadas).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Gieskieng

$$T = f \cdot \rho_a \cdot w \cdot r \cdot t \cdot n \cdot a \cdot u \quad (3.5)$$

Donde:

(T) = Capacidad de la máquina (t/h).

(f) = Coeficiente cuyo valor se obtiene de la tabla siguiente:

Tabla 3.5: Valor de f .

Naturaleza de la alimentación	Mandíbulas Lisas	Mandíbulas Acanaladas
Con sus finos normales	0.000144	0.000106
Finos eliminados	0.000126	0.000088
Cribado cuidadosamente	0.000108	0.000072

(ρ_a) = densidad aparente. Puede tomar el valor de $0.6 \cdot \rho_r$ (ρ_r = densidad real).

(w) = Ancho de la cámara de trituración (cm).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Coincide con el ancho de mandíbula.

(r) = reglaje (cm). Abertura en posición abierta.

En el caso de mandíbulas acanaladas el reglaje será la distancia entre la punta de la acanaladura de la mandíbula móvil y el fondo de la acanaladura de la mandíbula fija.

(t) = recorrido (cm). Si lo desconocemos podemos tomarlo igual a $t = 0.33 \cdot r$ (ver ecuación 3.3).

(n) = número de oscilaciones por minuto. Igual al número de r.p.m. del volante. Su valor depende del ancho de boca y se determina por la curva siguiente:

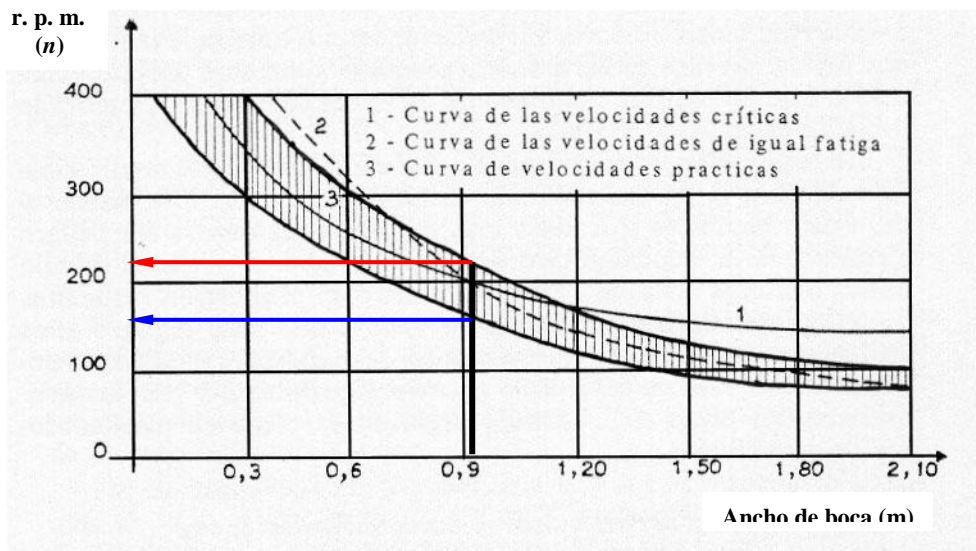


Fig. 3.14: Valor de n (r. p. m.) (Blanc, 1975).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

(a) = Coeficiente que depende del ángulo que forman las mandíbulas en posición cerrada y toma el valor de:

$$a = 1 + 0.03 \cdot (26 - \alpha)$$

Siendo α , el ángulo que forman las mandíbulas, a la entrada, en posición cerrada.

(u) = Coeficiente de utilización. Su valor se obtiene de la gráfica siguiente:

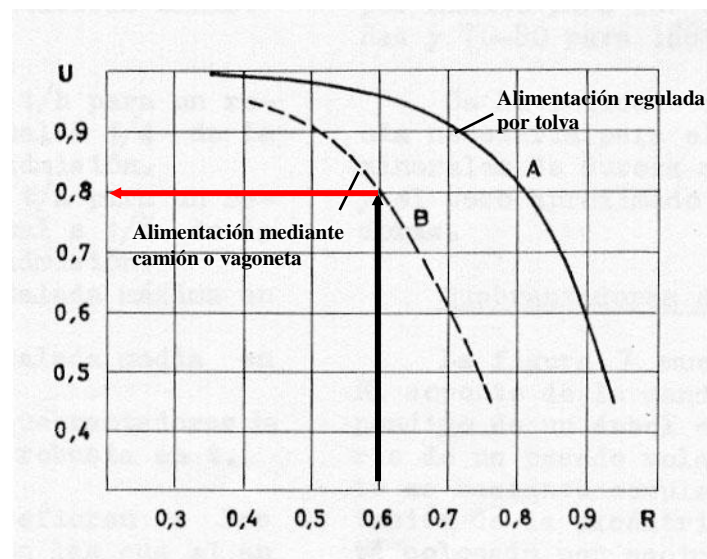


Fig. 3.15: Valor de u (ETSIMO, 1969).

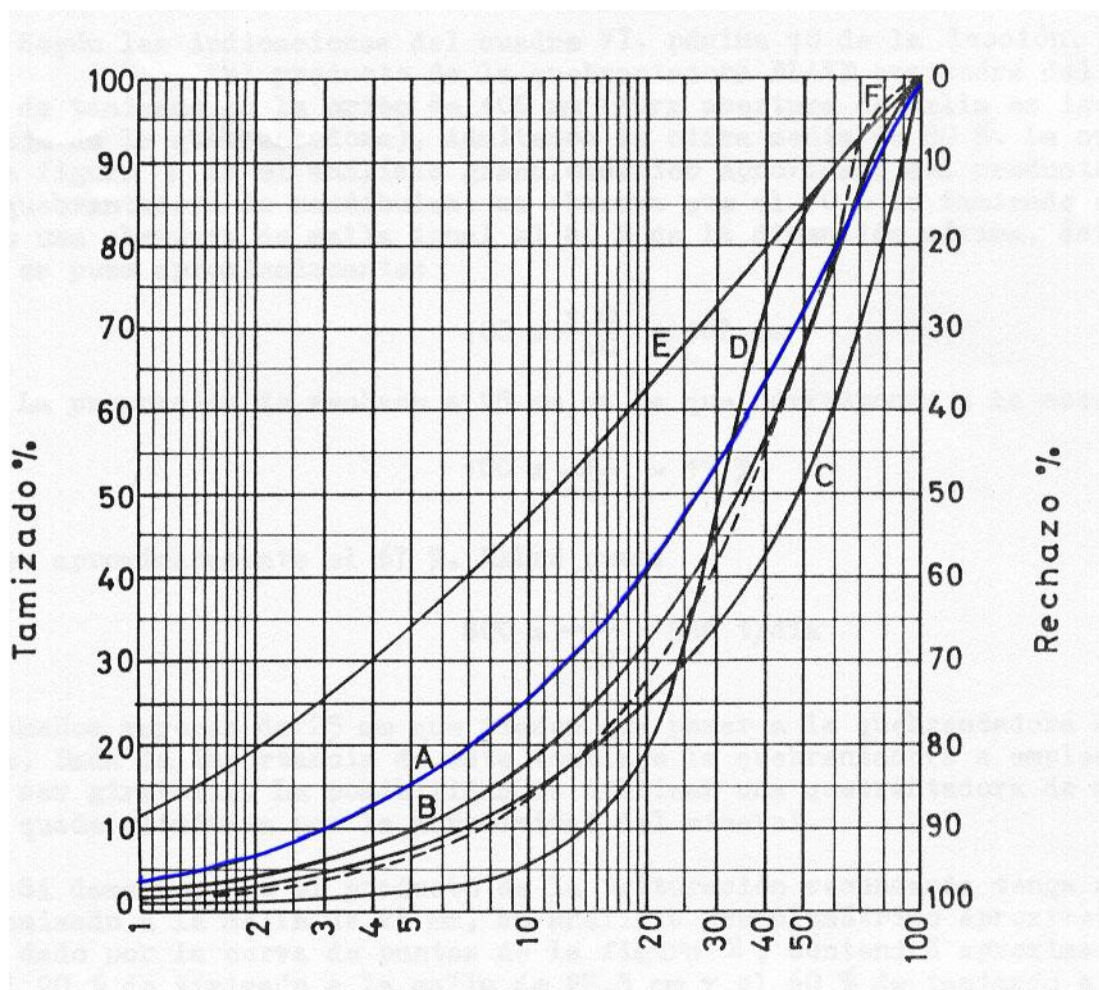
Siendo: $R = D_{\text{máx.}}/A$ (abertura de alimentación).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

3. Granulometría y % paso por la malla de reglaje.

La curva granulométrica del producto de una trituradora de mandíbulas viene dada por la curva (A) siguiente:



Abertura de malla, en $\%$ de la dimensión máxima ($d_{m\acute{a}x.}$).

Fig. 3.16: Curvas granulométricas de los productos para diferentes equipos (ETSIMV, 1996).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

El porcentaje de paso por la malla de reglaje para las trituradoras de mandíbulas viene dado por la tabla siguiente y varía entre un 0.6 % y un 0.9 %.

Tabla 3.6: Porcentajes de paso por la malla de reglaje.

Tipo de máquina	Tipo de Alimentación	Caliza (%)	Granito (%)	Cuarcita (%)	Minerales Medios (%)
Doble Efecto	Todo-Uno	85-90	70-75	65-70	85-90
Doble Efecto	Finos eliminados *	80-85	65-70	60-65	80-85
Doble Efecto	Cribado	75-80	60-70	55-60	75-80
Simple Efecto	Cribado	80-85	70-75	60-65	80-85

* Cribado somero (uso de barrotes).

4. Potencia de las trituradoras de mandíbulas.

Como ya vimos en el tema anterior, la **potencia absorbida**, según Bond, viene dada por:

$$P_a = 10 \cdot w_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q \quad (3.6)$$

Donde:

P_a = Potencia absorbida (kW).

Q = Capacidad de la trituradora (t/h).

La potencia del motor o potencia útil: $P_m = 2 \cdot P_a$

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Elementos del precio de coste de una trituradora.

Amortización: (5-10 años). Este periodo es muy variable dependiendo de diversos factores como el mantenimiento que ha sufrido, calidad de la máquina, etc.

Fuerza motriz: El consumo medio se sitúa entre 0.5 y 1.5 kw·h por tonelada tratada.

Mano de obra: Debe considerarse un vigilante por máquina en machaqueo primario, mientras que un vigilante es suficiente en trituración secundaria a cargo de una batería de trituradoras.

Desgaste: Los principales elementos de desgaste son las mandíbulas, los revestimientos, las placas de articulación y los puntos de apoyo.

Mantenimiento general: Se refiere al engrase, los reglajes periódicos, el cambio de piezas de desgaste, varillas, resortes, fijaciones, etc.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

3.2. Trituradoras Giratorias.

Trituradoras Giratorias Primarias:

Estos equipos aparecen en los EE.UU (1879), y se comercializan a partir de 1881 con el nombre de trituradores giratorios **Gates** (Gates Iron Works).

En Europa aparecen a partir de 1920.

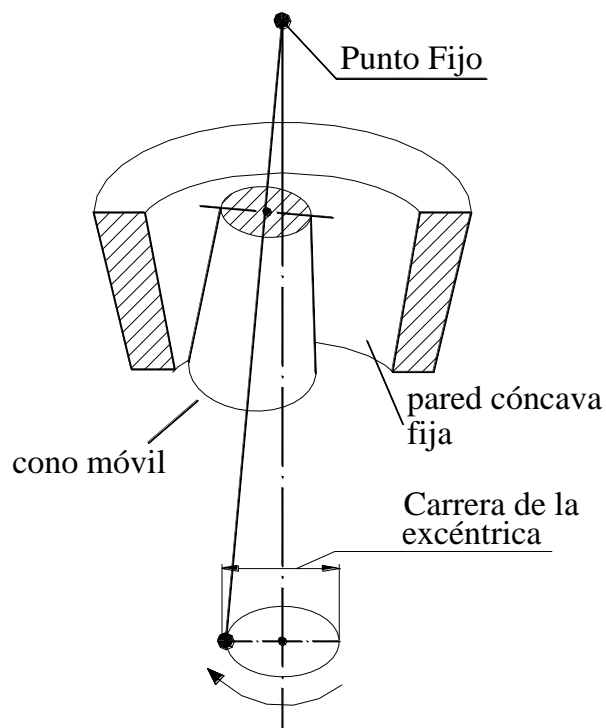


Fig. 3.17: Esquema de funcionamiento de un triturador giratorio.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Principio de funcionamiento.

En estos equipos los materiales a triturar se reducen por medio de esfuerzos de compresión entre dos paredes trococónicas.

Una de las cuales es fija y cóncava (ver figura 3.17) y la otra forma un tronco de cono animado con movimiento excéntrico. Este movimiento va a hacer que el cono se aleje y se acerque a la pared cóncava de manera alternativa.

Cuando el cono móvil se acerca al cóncavo fijo se produce la fragmentación del material, y cuando se aleja el cono móvil, el material reducido desciende por gravedad a otro nivel para prepararse a ser nuevamente triturado.

Observando el movimiento del cono móvil en el interior de un triturador giratorio, se puede decir que éste trabaja en “continuo” sobre la mitad del volumen de su cámara de trituración.

Se debe tener en cuenta que el cono móvil, en carga, tiene a su vez un movimiento sobre su eje; inverso al movimiento excéntrico, como resultado de su eje pendular que le permite girar libremente en su soporte.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Corte Esquemático de una giratoria primaria.

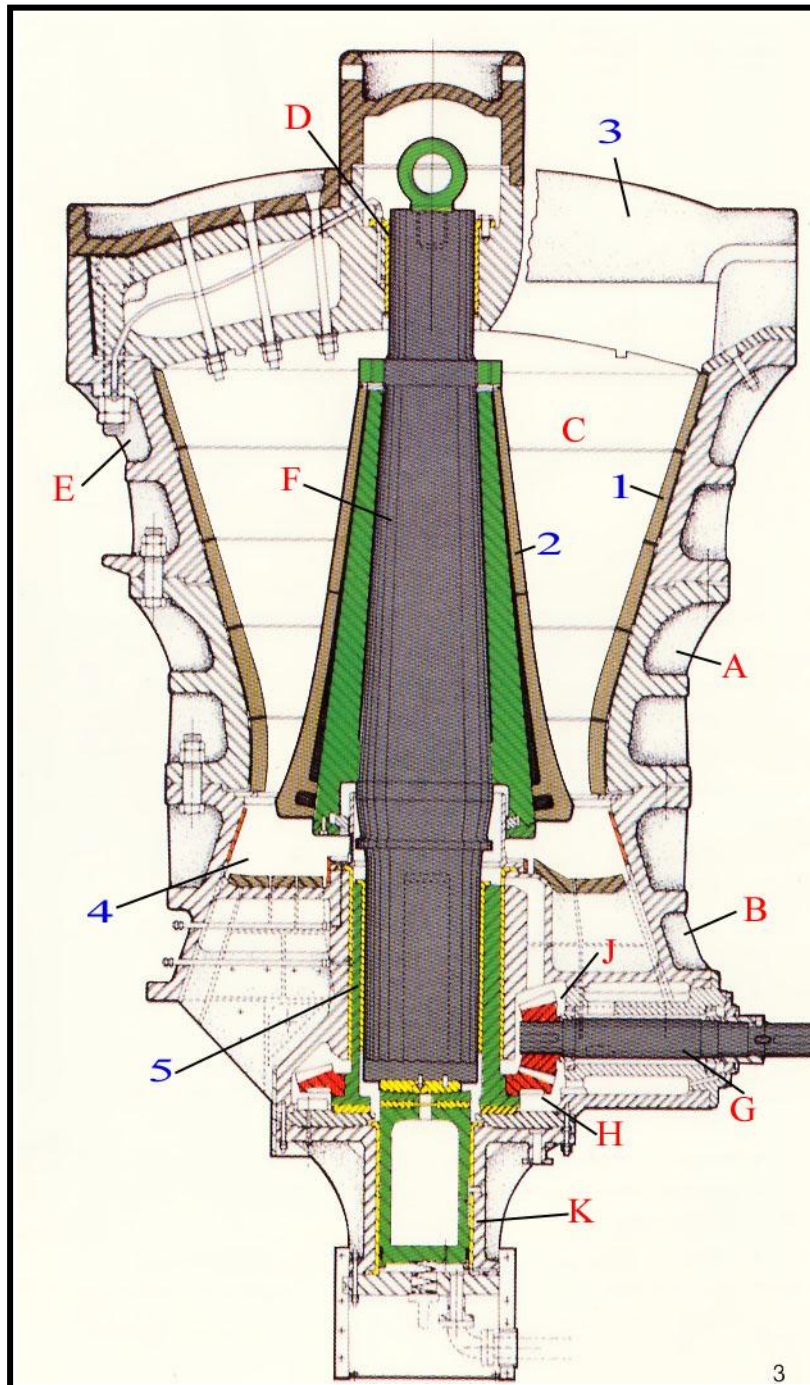


Fig. 3.18: Corte esquemático de una trituradora giratoria primaria (Cortesía de Fuller-Traylor).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

La figura 3.18 muestra un corte esquemático de este tipo de máquinas. Como ya hemos mencionado anteriormente, los trituradores giratorios primarios están constituidos básicamente por una parte fija y otra móvil.

La parte fija se denomina **bastidor o carcasa** y esta formada por varias piezas ensambladas de acero fundido resistentes al impacto.

Bastidor superior o Cuba (E), forma el espacio donde se producen los fenómenos de fragmentación (**C**). La superficie interior de la cuba se encuentra revestida por placas antidesgaste denominadas **cóncavos (1)**, fabricadas de acero al manganeso.

En la parte superior de la cuba, tenemos el anillo que forma la boca de alimentación y en el que descansa la brida que está constituida por dos o más brazos o **patas de araña (3)** que forman el **crucero**.

En el alojamiento central del crucero se encuentra el **apoyo fijo** del eje pendular (**D**).

El eje pendular (ver figura 3.20) constituye la mandíbula móvil o cono, que recibe el nombre de **nuez o eje principal (F)**. Está forjado en una sola pieza y pivota en la parte superior por medio de cojinetes situados en la tuerca de suspensión que es la que soporta el peso de la nuez y permitirá realizar el reglaje de la máquina.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Otros equipos giratorios han desplazado el soporte superior del eje principal a la parte **inferior**. Obligando a descansar el eje en el **pistón de un gato hidráulico (K)** y que permite el reglaje del equipo (ver figura 3.19).

La nuez también está forrada de placas antidesgaste de acero al manganeso (2).

En el **bastidor inferior (B)**, se encuentran los mecanismos de accionamiento formados por el **eje piñón (G)** que transmite el giro, que le proporciona la polea, a la **corona dentada (H)** por medio del **piñón (K)**. Dando lugar a movimiento giratorio de la **excéntrica (5)**.

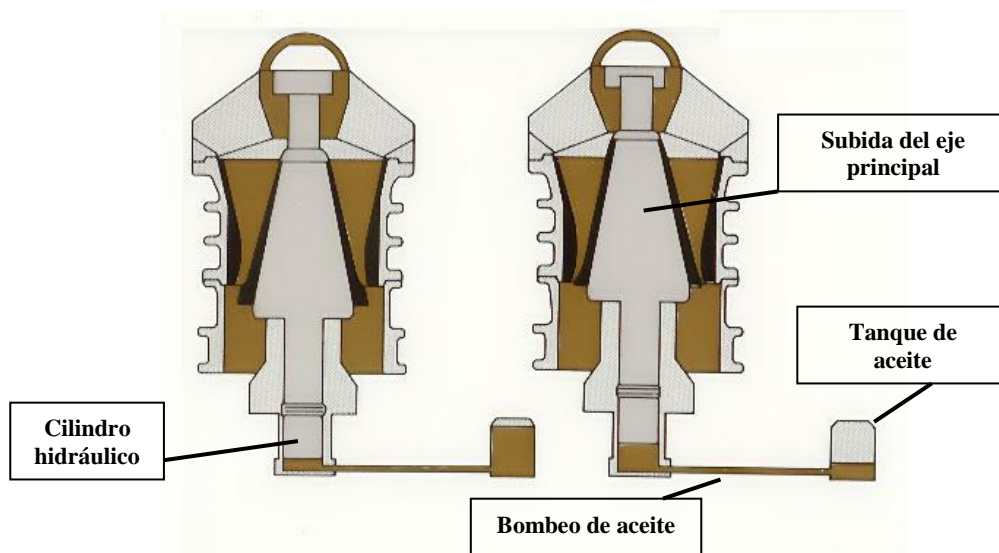


Fig. 3.19: Regulación por sistema hidráulico (Cortesía de Svedala).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.



Fig. 3.20: Eje Principal o Nuez (Cortesía de Svedala).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Principales partes de una giratoria primaria.

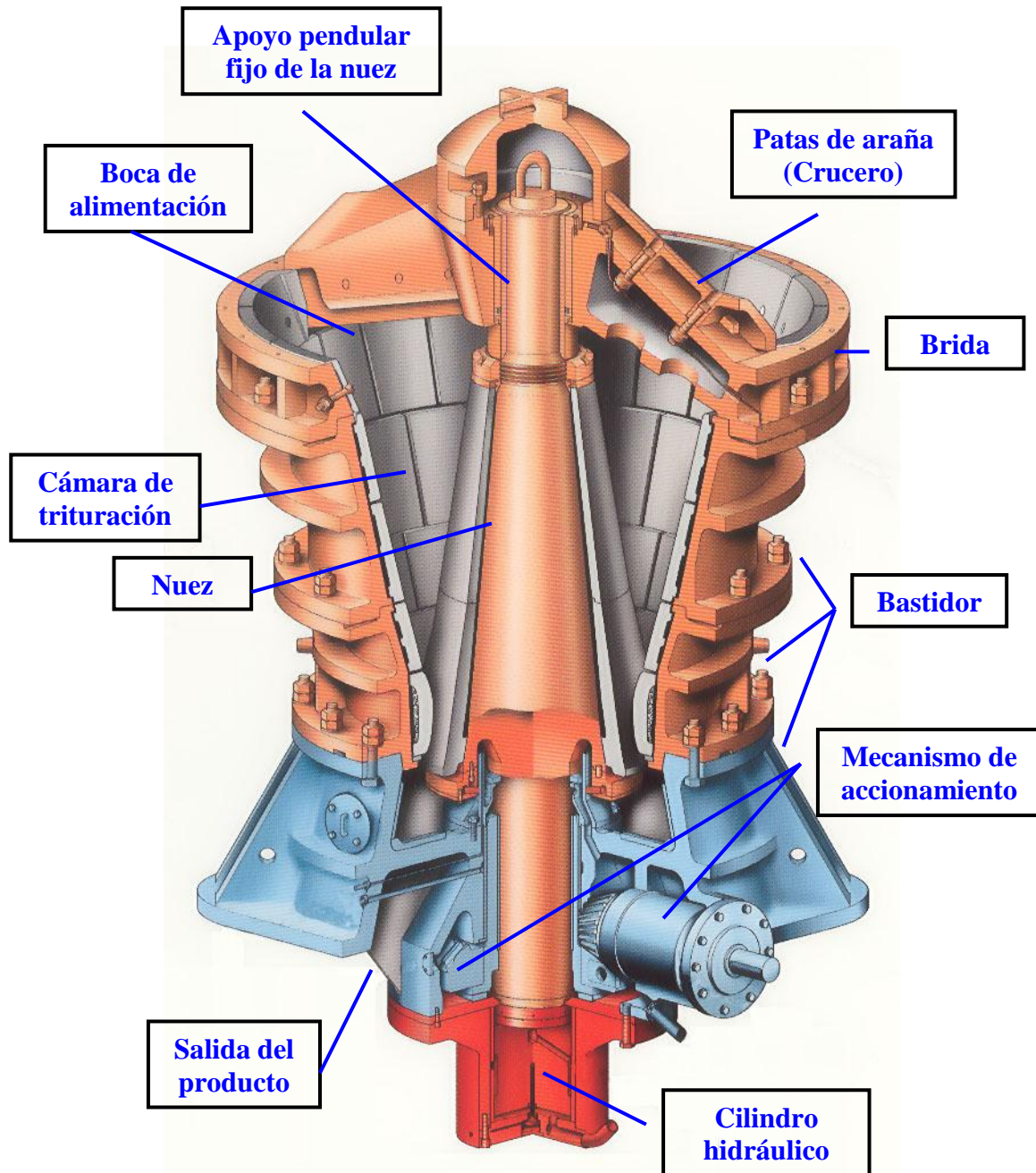


Fig. 3.21: Partes principales de una giratoria primaria (Cortesía de Krupp Fördertechnik).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Disposición típica de una instalación primaria con una giratoria.

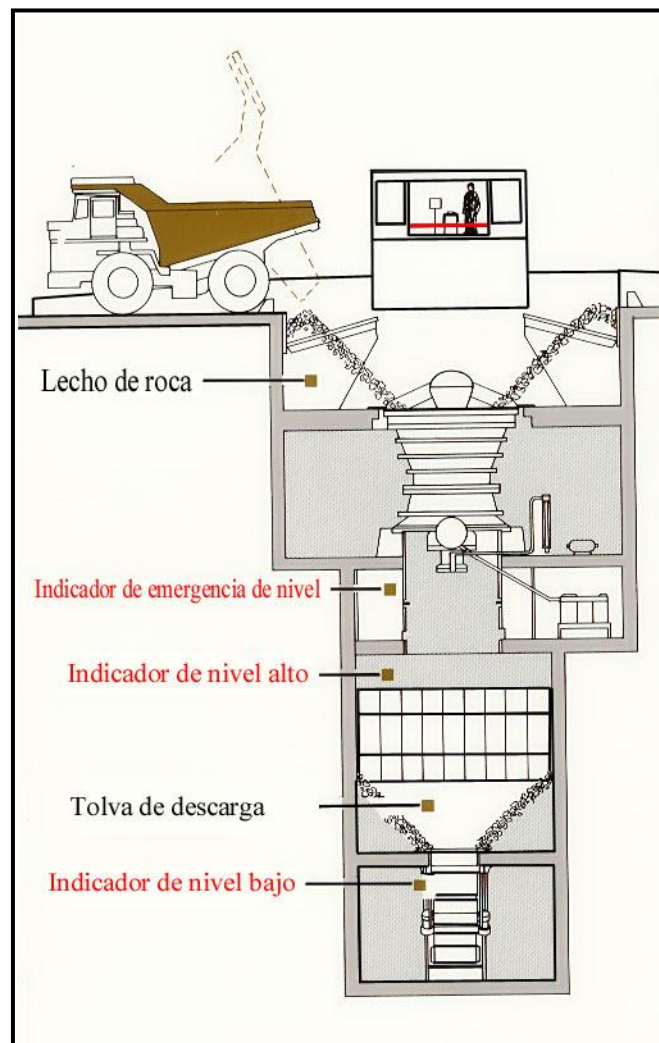


Fig. 3.22: Instalación de una giratoria primaria (Cortesía de Svedala).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

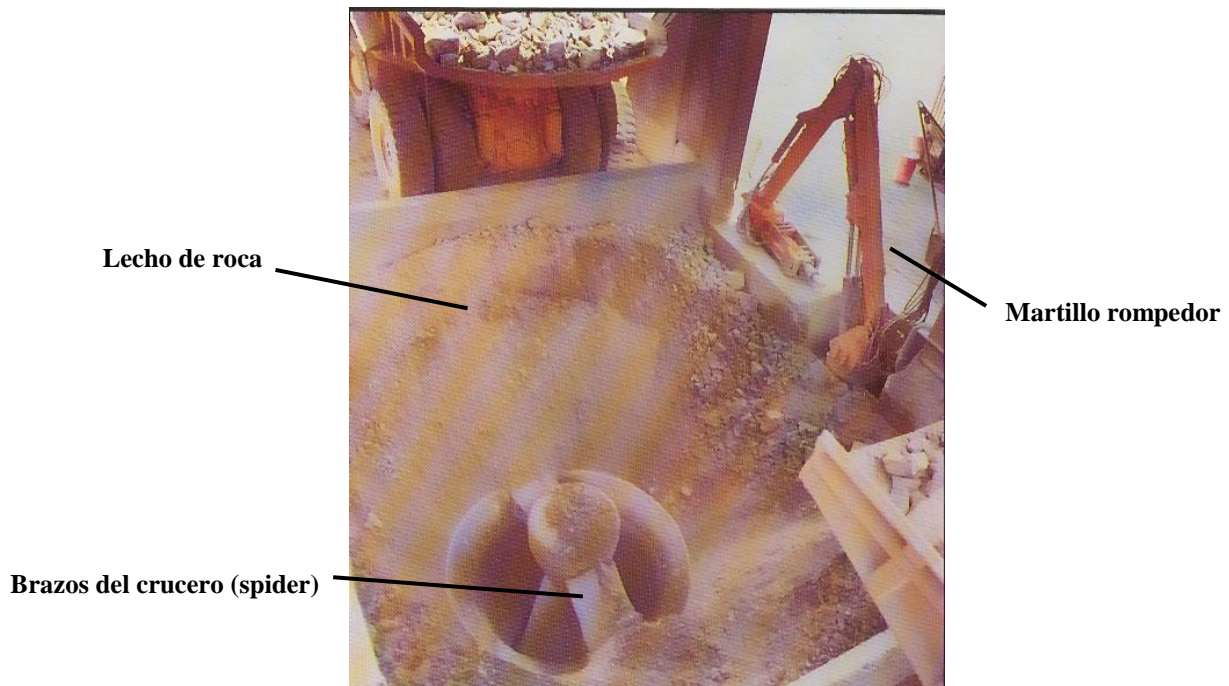


Fig. 3.23: Alimentación de una giratoria (Cortesía de Svedala).

En la figura 3.23 se puede apreciar la disposición paralela de las patas de araña a la descarga del material.

Se debe evitar la descarga directa del material sobre el crucero de la giratoria o sobre el conjunto del eje principal. Para ello se creará en la tolva de alimentación un lecho de roca.

La relación de reducción de los trituradores giratorios primarios es de **6:1**, dando un producto de **150 mm** de tamaño.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Encontramos en el mercado equipos giratorios para diferentes producciones. Alcanzando algunos equipos los **7 metros** de diámetro (boca de alimentación) y un peso total de **800 ton**.

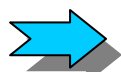
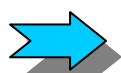
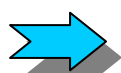
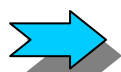
Trituradoras Giratorias Secundarias y Terciarias:

Las **giratorias secundarias** son aquellas que reciben el producto obtenido en una trituradora primaria (mandíbulas o giratoria).

Las **giratorias terciarias**, recibirán el producto de una etapa secundaria (p.e.: giratorias secundarias).

Estas máquinas tienen un diseño mecánico similar a las trituradoras primarias (disponen de crucero y punto de apoyo fijo superior).

Las diferencias que existen con los trituradores primarios son básicamente las siguientes:

-  Boca de alimentación menor.
-  Diseño de la cámara de trituración más tendida.
-  Mayor carrera de la excéntrica.
-  Elevada velocidad de giro del cono móvil (**250 rev/min**).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Son equipos más ligeros que las máquinas primarias, pues reciben un material ya fragmentado por la etapa anterior.

Poseen una **abertura de admisión** importante (400 a 800 mm.), para poder absorber los grandes fragmentos que provienen de la etapa anterior y que pueden llegar a alcanzar un tamaño de **300x450x750 mm.**

La boca de admisión suele ser de **2 a 2.5 veces** el reglaje de la máquina anterior.

El tamaño de los productos varía entre **150 mm** y **40 mm**, lo que obliga a resolver satisfactoriamente problemas de entrada de intriturables.

El **ángulo del cono** o **nuez** en su vértice será igual o inferior a **75°**, característica que cumplen también los giratorios primarios, pero con un ángulo más pronunciado.

El eje principal o cono móvil puede estar suspendido o apoyado en la parte inferior y sujeta la cabeza del eje a la parte superior del crucero. En el primer tipo el reglaje se efectuará desde la cabeza y en el segundo se efectuará desde el pie por medio de un sistema hidráulico como se vio en los giratorios primarios.

La capacidad de estas máquinas se verá afectada con materiales húmedos y alto contenido de finos.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Se utilizan como secundarios en canteras, y pueden trabajar como primarios en graveras, donde no interesa obtener gran cantidad de finos.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

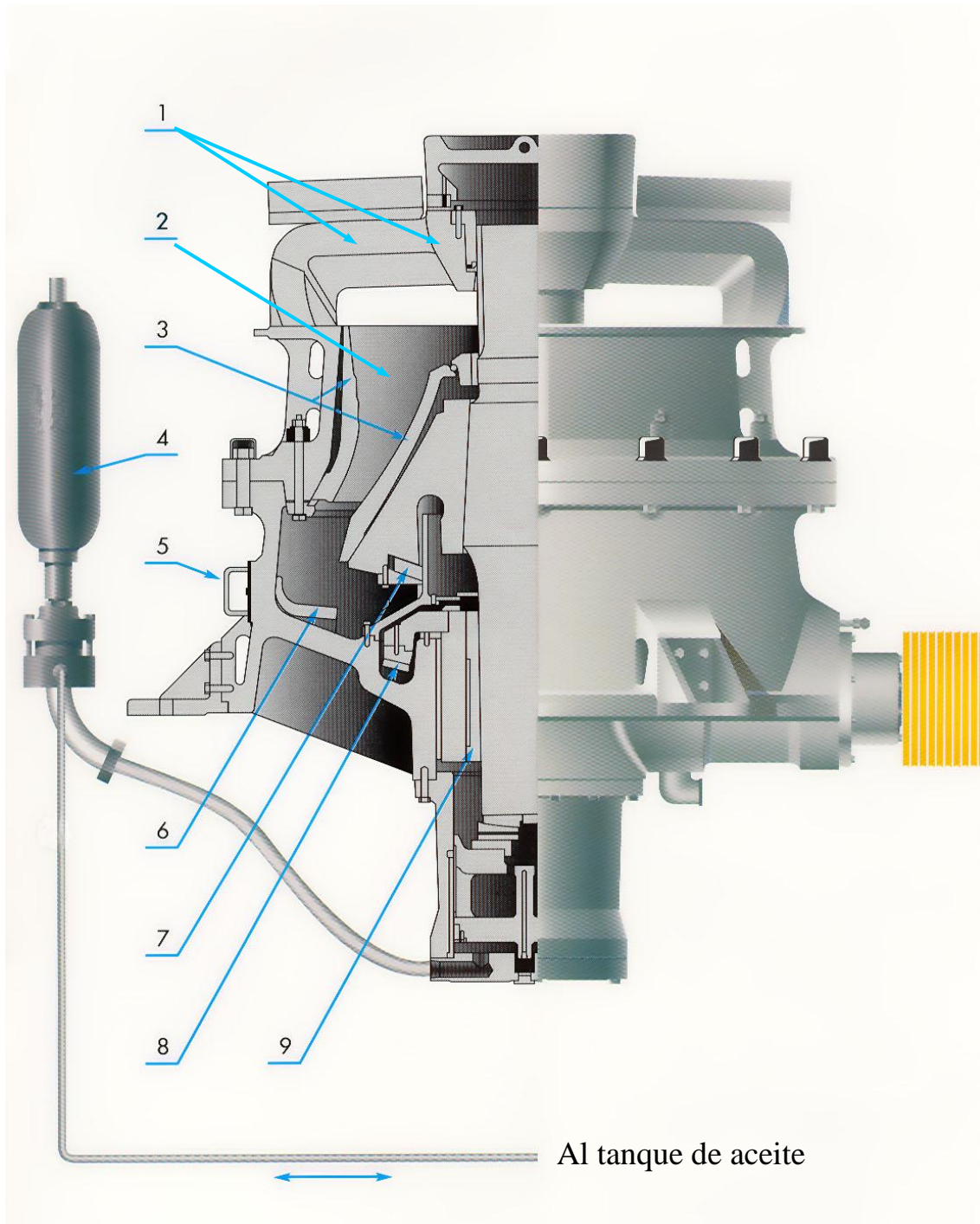


Fig. 3.24: Triturador Giratorio Secundario "Hydrocone" (Ø 2,75 m.)
(Cortesía de Svedala).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Principales partes del triturador Hydrocone (fig. 3.24):

1. Crucero y articulación superior del eje principal.
2. Cámara de trituración.
3. Placas de trituración (revestimientos de desgaste).
4. Acumulador de aceite contra los intriturbables.
5. Agujeros de inspección en la parte inferior del bastidor.
6. Protecciones de los brazos inferiores de aleación.
7. Anillo de sellado contra el polvo (autolubricante).
8. Engranaje cónico.
9. Casquillo excéntrico.

Los *Hydrocone* son máquinas de suspensión hidráulica.

Estas máquinas permiten diferentes diseños de cámara, cambiando únicamente los revestimientos de trituración (cámara extra fina, cámara fina, cámara media y cámara gruesa).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

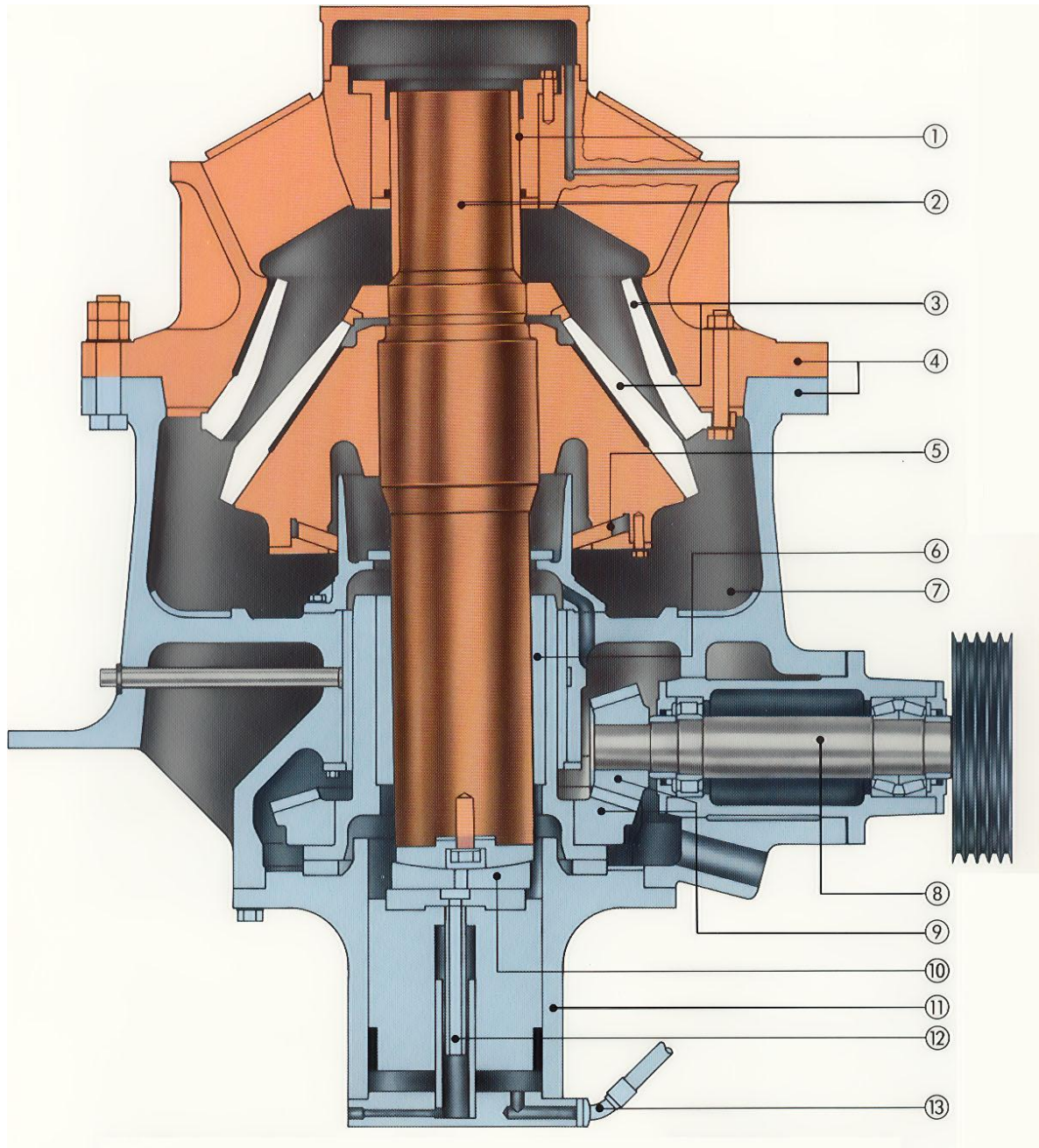


Fig. 3.25: Corte de un triturador giratorio secundario de \varnothing 900 mm.
(Giratorio Kubria, Cortesía de Krupp).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Elementos principales del giratorio Kubria (fig. 3.25):

1. Rodamientos superiores del eje principal.
2. Eje principal o Nuez.
3. Revestimientos de trituración.
4. Bastidor de acero fundido.
5. Anillo sellante contra el polvo.
6. Casquillo excéntrico.
7. Abertura de descarga.
8. Eje de transmisión.
9. Piñón y engranaje cónico.
10. Cojinete de empuje hidráulico.
11. Cilindro hidráulico
12. Medidor de la posición del eje principal.
13. Conexión con el sistema hidráulico (bomba y depósito).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

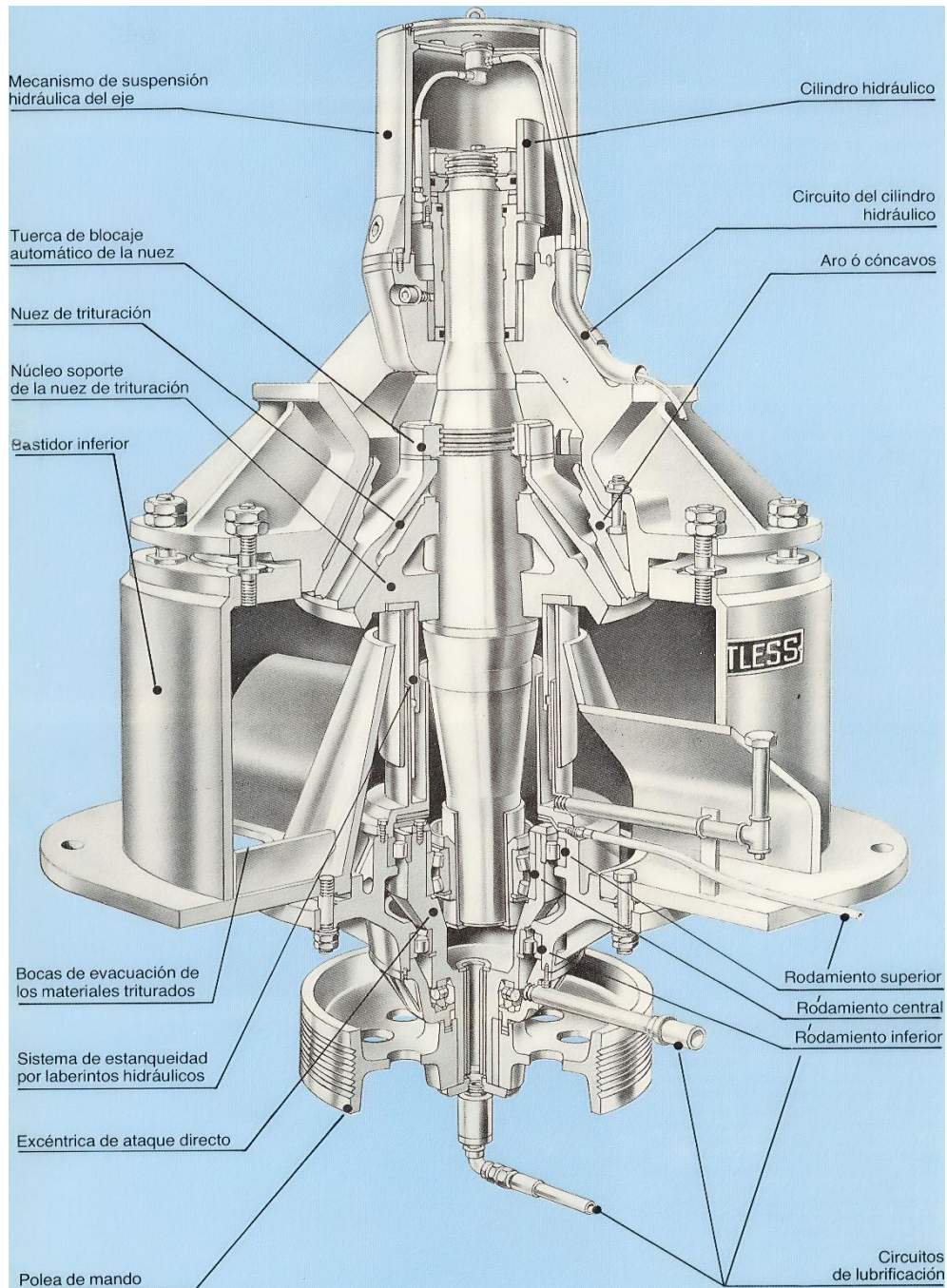


Fig. 3.26: Triturador giratorio secundario con accionamiento directo por polea de eje vertical (Cortesía de Babbittless).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

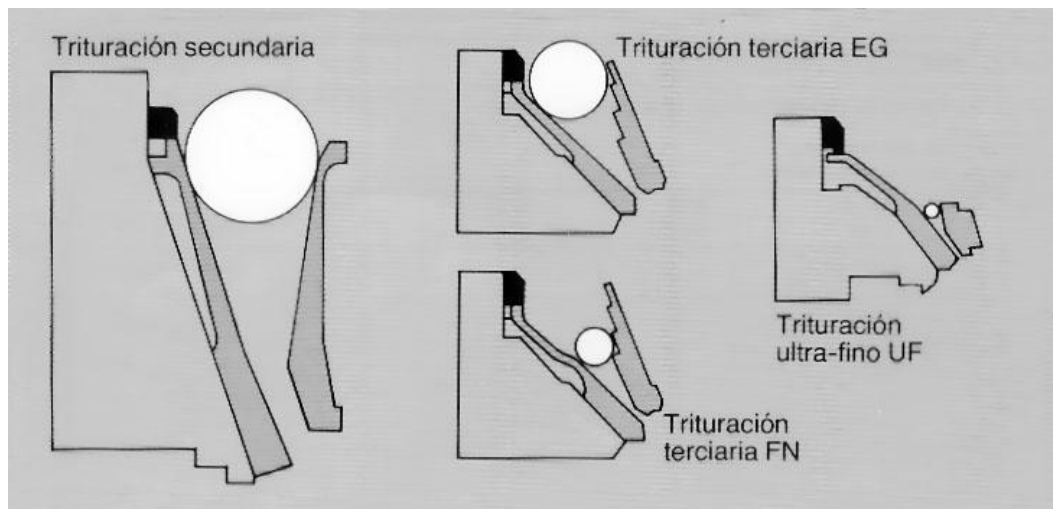


Fig. 3.27: Tipos de cámara de trituración, en función del tamaño de la alimentación y del producto.



Fig. 3.28: Cono y eje principal de un triturador giratorio secundario (Cortesía de Babbitless).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradores de Cono:

Los equipos giratorios vistos anteriormente ofrecen un crucero superior (punto de apoyo superior del eje principal), dividiendo la boca de entrada en dos zonas, lo que obstaculiza la entrada de material al giratorio.

A partir de **1926** aparece el triturador de cono Symons sin apoyo superior del eje. El cual marcó el inicio de una familia de trituradores conocidos como trituradores de cono y que están ampliamente difundidos.

Existen diversos tipos de conos que se adaptan a etapas secundarias, terciarias y de gravillado.

Estos conos no descansan en ningún apoyo superior sino en unos cojinetes semi-esféricos a través del cuerpo tronco-cónico móvil (ver figura 3.30).

El ensanchamiento del tazón va a permitir un ángulo del cono más abierto (90° - 125°) proporcionando una mayor capacidad de trituración frente a un giratorio de dimensiones similares (ver figura 3.29).

La relación de reducción de los conos es de **8:1**, alcanzándose en algunos equipos la relación de **10:1**.

Los conos secundarios proporcionan tamaños de producto comprendidos entre 150 mm y 40 mm.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Los **conos terciarios** dan granulometrías comprendidas entre **40 mm y 10 mm**, se les conoce con el nombre de gravilladores.

Para productos finos o ultra-finos, tenemos los conos que proporcionan tamaños de producto comprendidos entre **20 mm y 5 mm**.

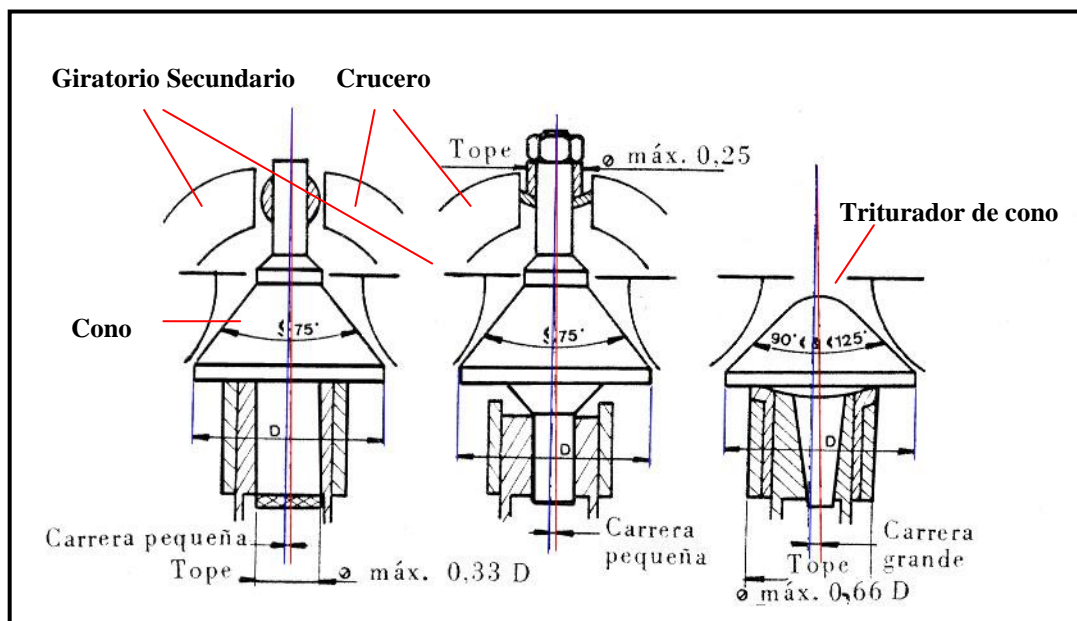


Fig. 3.29: Ángulos de cono en giratorios secundarios y conos (Blanc, 1975).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Triturador de cono Symons.

El triturador de cono Symons es el más extendido y se fabrica bajo dos modelos: El **Estándar**, para trituración secundaria normal, y el **de Cabeza Corta**, para trituración terciaria o fina. Se diferencian en la forma de las cámaras de trituración (ver figura 3.31).

Una característica fundamental de los trituradores de cono es la sección paralela entre los revestimientos de trituración a la salida de la descarga, asegurándonos un mayor control sobre el tamaño del producto obtenido.

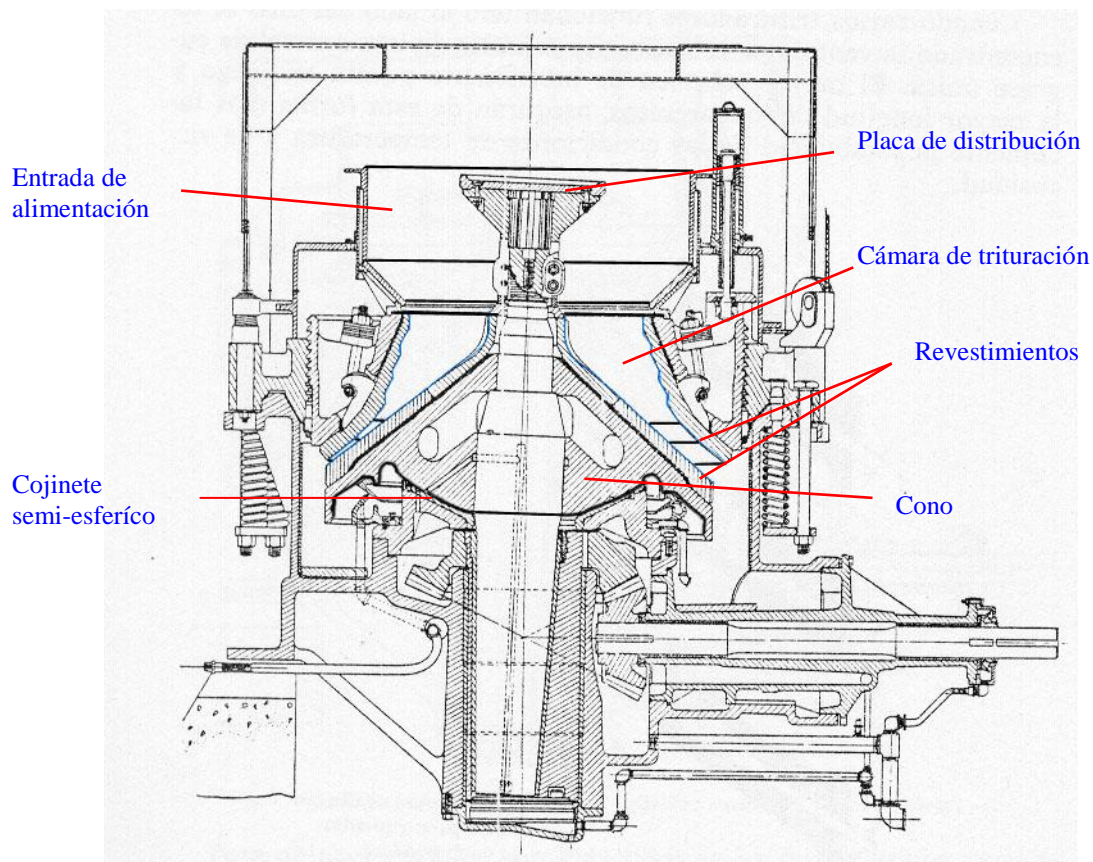


Fig. 3.30: Triturador de cono Symons. Tipo Estándar (Blanc, 1975).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Los equipos actuales, por medio de un motor hidráulico, permiten un reglaje entre el cono fijo y el cono móvil de una forma continua, precisa e incluso en carga.

El reglaje se realiza por medio de la rotación de la cuba, elevándola hacia arriba o hacia abajo. Un sistema bloqueará al conjunto una vez realizado el reglaje.

El **reglaje** de un triturador de cono nos lo da la dimensión de la abertura de salida en **posición cerrada**.

La **placa de distribución** ayuda a distribuir de forma uniforme la alimentación a toda la cámara de trituración.

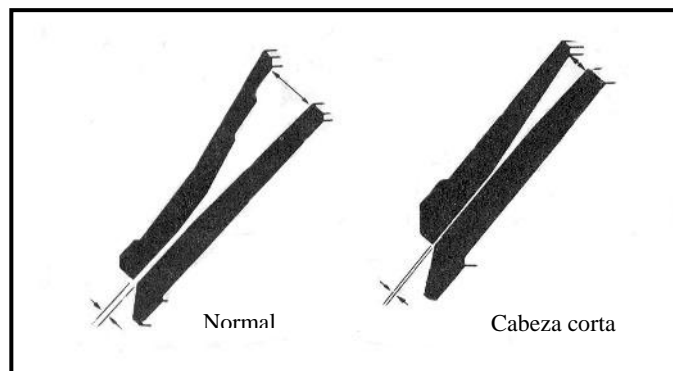


Fig. 3.31: Revestimientos de un cono Symons (Blanc, 1975).

Los revestimientos de la cámara de trituración están fabricados con acero al manganeso, proporcionándoles una alta resistencia al desgaste y una alta tenacidad.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

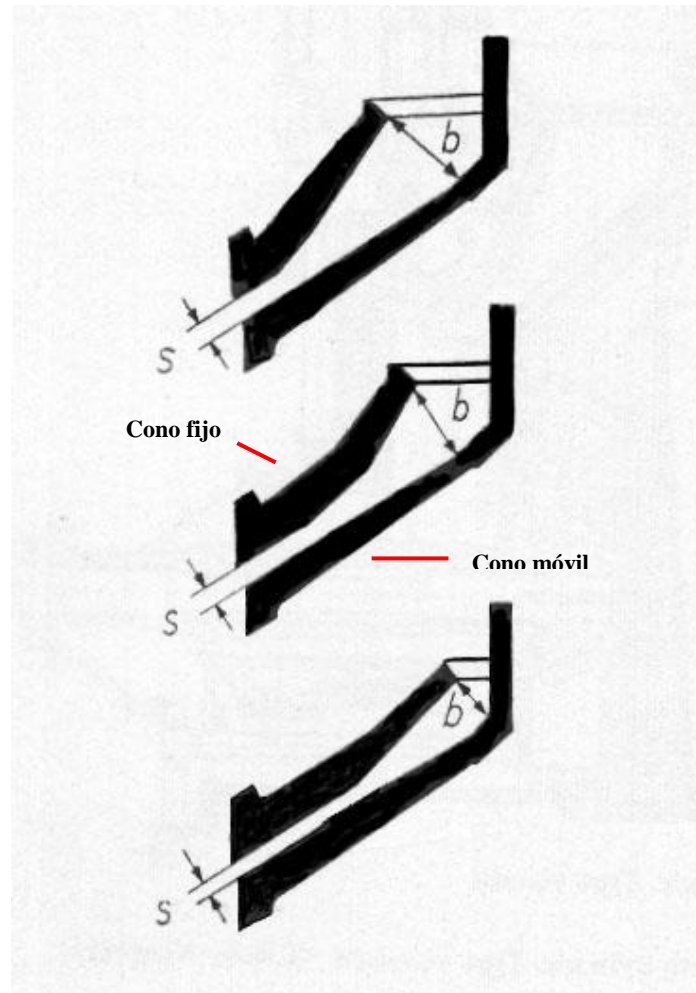


Fig. 3.32: Cámaras de trituración de un cono Symons estándar (Blanc, 1975).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

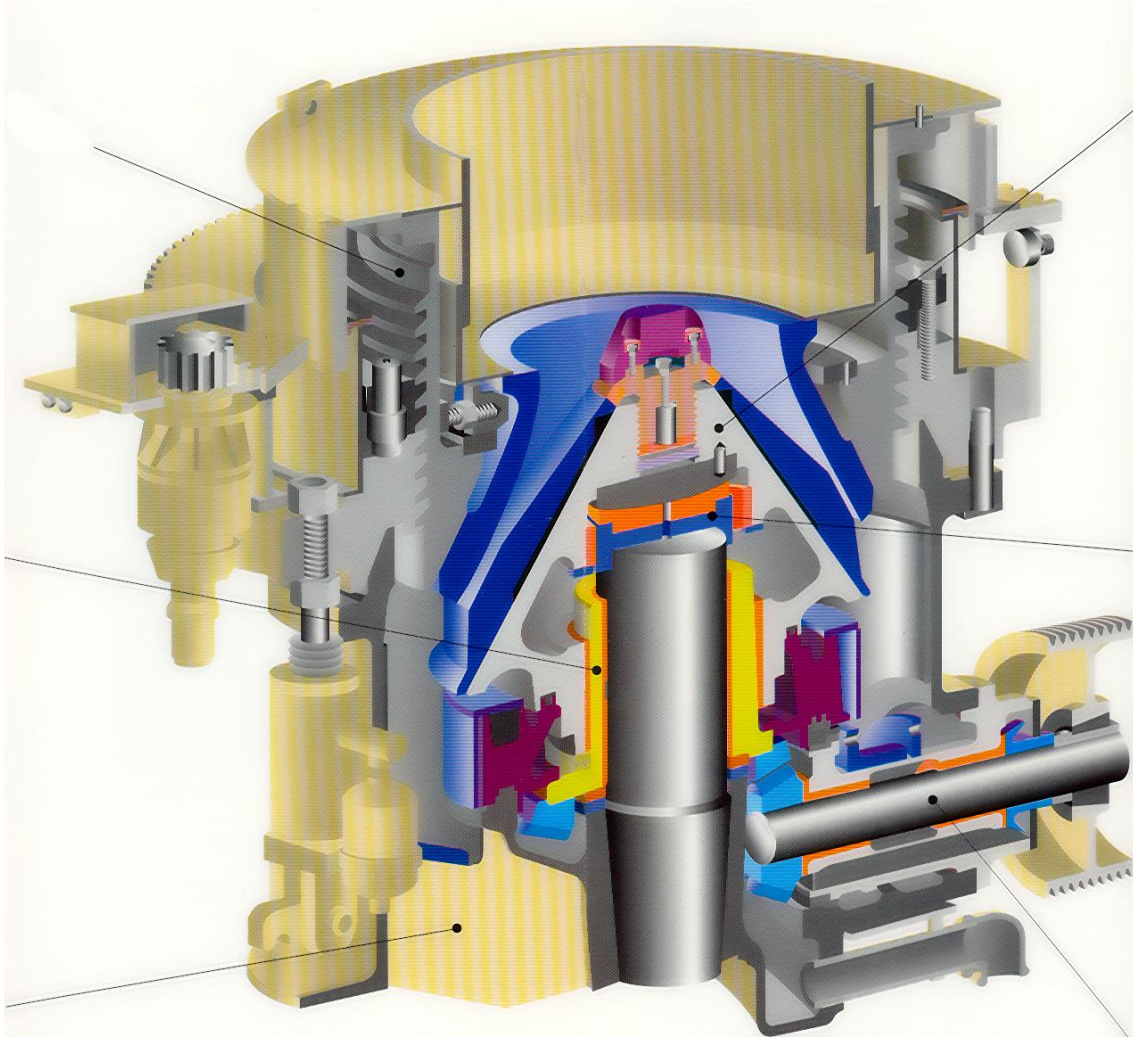


Fig. 3.33: Triturador de cono HP SX derivado del cono Symons (cortesía de Nordberg).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Actualmente son muchos los fabricantes que han diseñado variaciones sobre los conos. Podemos mencionar los más conocidos:

El **Gyrasphere** de Telsmith.

El **Calibrator** de KHD.

El **Dybcone** de Babbittless.

El **Rollercone** de Cedarapids.

El **Gyradisc** de Nordberg.

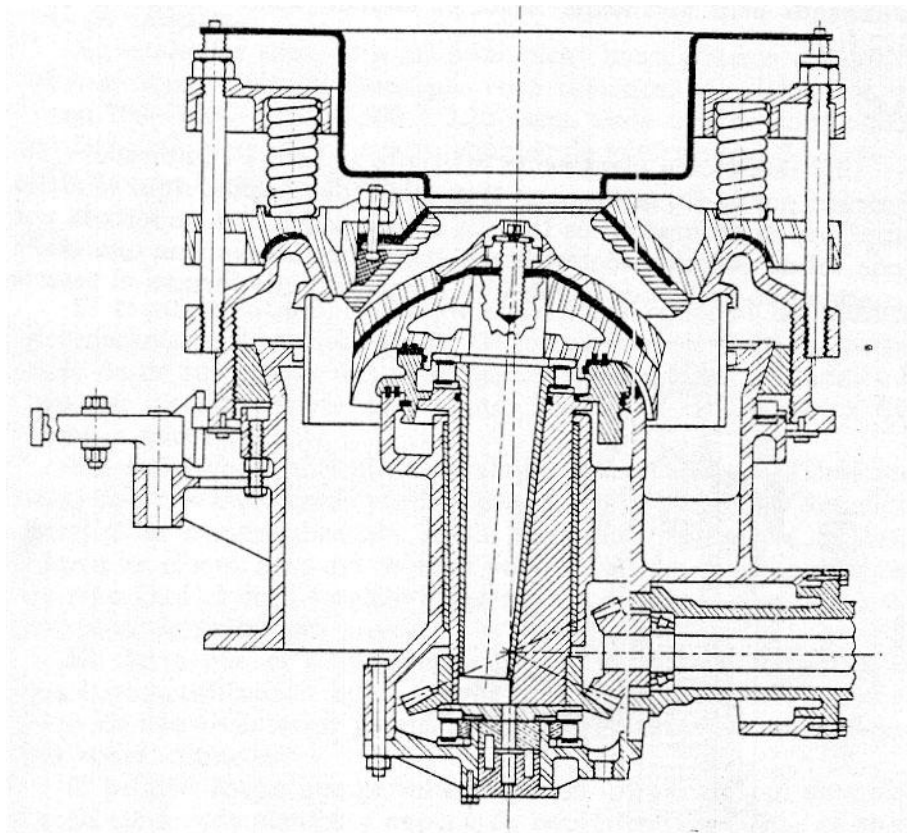


Fig. 3.34: Corte de un cono Gyrasphere (Blanc, 1975).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

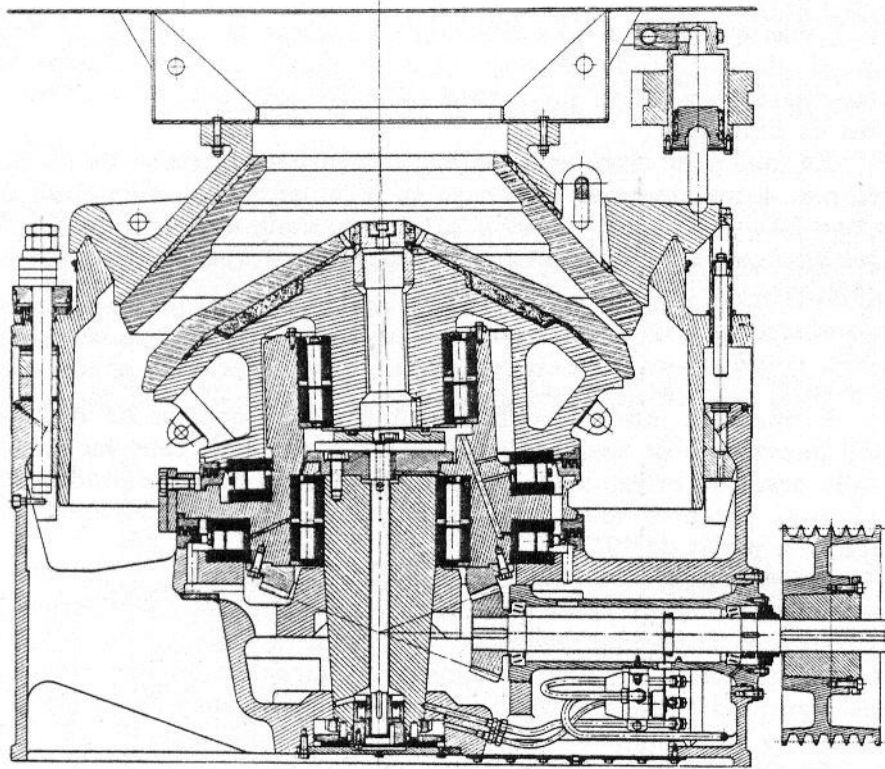


Fig. 3.35: Corte de un Rollercone (Blanc, 1975).

El **Gyradisc** (Giradisco) y el **Gyrasphere** se utilizan en trituración terciaria obteniendo triturados entre **9** y **0.83 mm**, que según la clasificación de *Hukki* equivale a **molienda gruesa**.

Estas máquinas trabajan en **circuito cerrado**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Diferencias entre una Trituradora Giratoria y un Triturador de Cono (Symons).

Tabla 3.6: Diferencias entre una giratoria y un triturador de cono.

Giratoria	Triturador de Cono
Divide en dos partes la cámara de trituración en la boca de entrada.	Entrada libre al no existir punto de apoyo superior.
Doble apoyo: En la parte superior y en la inferior.	Apoyo inferior únicamente.
Menor excentricidad.	Mayor excentricidad.
Ángulo del cono cerrado (<75°)	Ángulo de cono muy abierto.
Volumen constante en la cámara de trituración.	Volumen creciente de la cámara de trituración.
Velocidad de giro menor.	Velocidad de giro mayor.
	Apoyo inferior con superficie de 4-6 veces más que en la giratoria (absorbe mejor los esfuerzos dinámicos).
Reglaje: Subiendo el tronco del cono.	Reglaje: Subiendo o bajando el bastidor superior porta-aro de trituración.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Dimensionado de una Trituradora de Giratoria

Para el dimensionado de una trituradora giratoria los parámetros que hay que estudiar son similares a los vistos con los trituradores de mandíbulas:

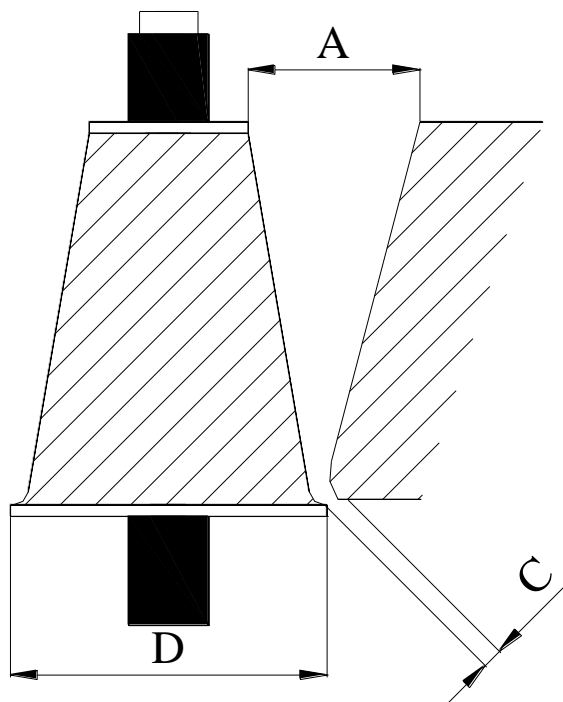
1. $D_{\text{máx.}}$ y Boca de Admisión.
2. Capacidad y Reglaje.
3. Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
4. Potencia absorbida y Potencia motor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

1. $D_{\text{máx.}}$ y Boca de Admisión.

La boca de admisión de una giratoria queda definida por la **anchura de boca (A)**.



Según la norma europea CECE IV, la **abertura de boca** es el **tamaño nominal máximo de la abertura** medido perpendicularmente a un cono bisector formado por la mandíbula cónica móvil y la parte fija cóncava.

Esta medida se tomaría a partir del labio superior del anillo. En caso de superficies dentadas se tomará a partir de la base de los dientes de la mandíbula cónica móvil hasta la cima de los dientes del cóncavo.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

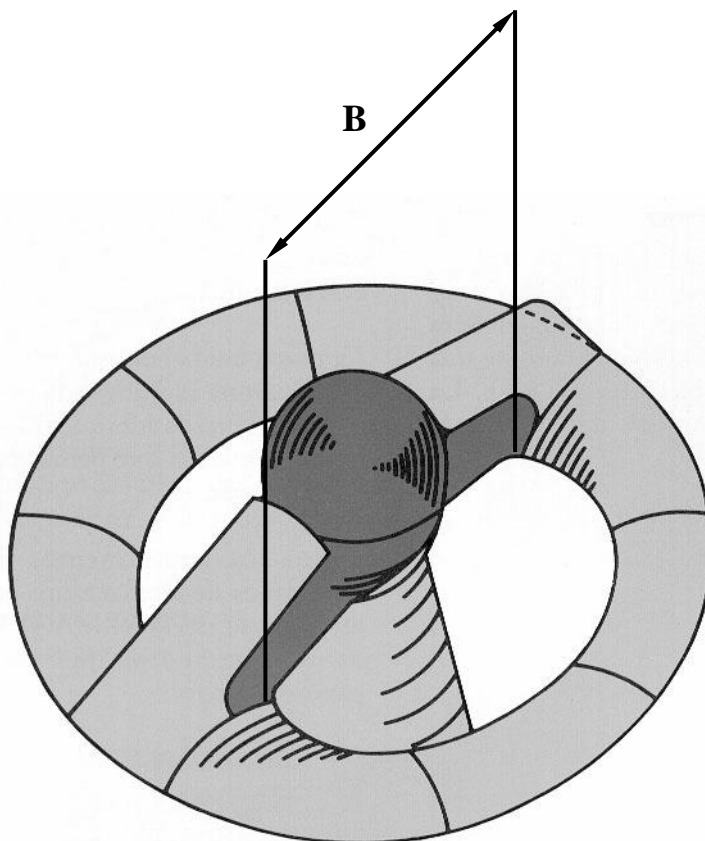
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Para no tener problemas con la entrada de fragmentos grandes a la giratoria, se debe cumplir que:

$$D_{\text{máx.}} = 0.8 \cdot A \quad (3.7)$$

La **longitud de la boca de entrada (B)** y la boca de admisión están relacionados por la siguiente expresión:

$$B = 2.7 \cdot A \quad (3.8)$$



BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

El $D_{\text{máx.}}$ se obtiene:

- Obtenido por precibado previo (parrillas).
- Por medio de ábacos que relacionan el $D_{\text{máx.}}$ con la capacidad del cazo (m^3).
- Dato conocido (tamaño material explotado).

2. Capacidad y Reglaje.

El reglaje en máquinas de **trituración primaria**, es la abertura de la boca de salida en **posición abierta (C)** (ver figuras anteriores).

La capacidad de una trituradora giratoria la podemos obtener por medio de:

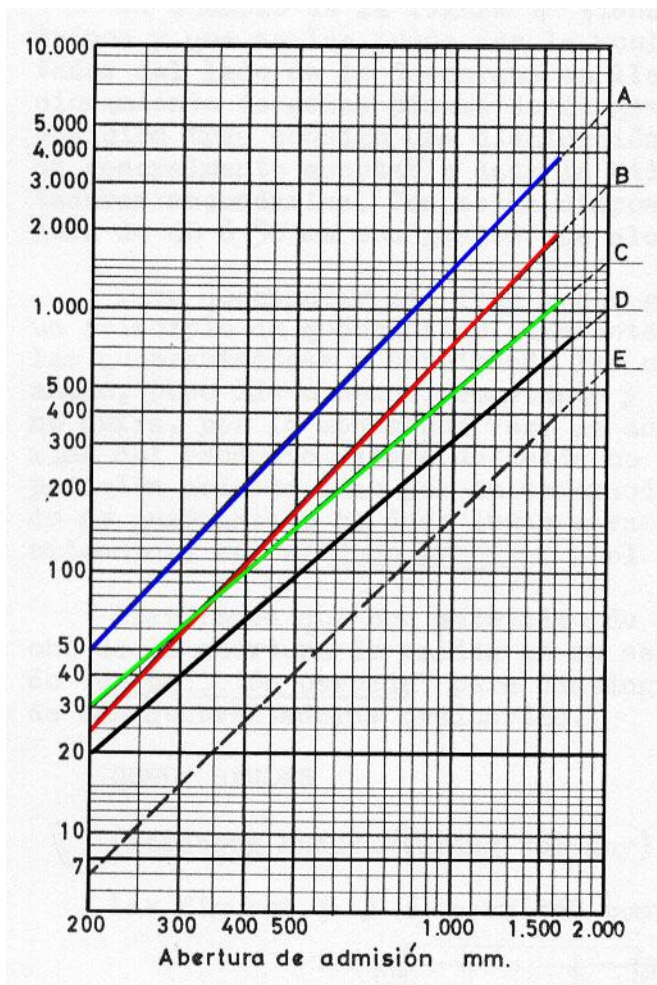
- ⇒ **Ábacos.**
- ⇒ **Tablas** (proporcionadas por los fabricantes de equipos).
- ⇒ **Fórmulas empíricas.**

Como ya vimos en trituradoras de mandíbulas.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Ábacos

(para trituradoras primarias giratorias)



A: Capacidad (ton/h) para un reglaje igual a **1/5** de **A**.

B: Capacidad (ton/h) para un reglaje igual a **1/8** de **A**.

C: Potencia máxima instalada (CV).

D: Potencia media instalada (CV)

E: Peso de la máquina (ton).

Fig. 3.37: Ábaco de características de un triturador giratorio primario (ETSIMO, 1969).

Las capacidades dadas por el ábaco, son para una densidad aparente de **1.6 t/m³**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Tablas de características técnicas.

La capacidad puede obtenerse por medio de tablas suministradas por los fabricantes, donde se debe entrar con los valores de la boca de alimentación y/o el reglaje.

Tabla 3.7: Giratorias primarias (cortesía de Svedala)

Capacidad de producción en toneladas métricas de las trituradoras giratorias *Superior MK-II* TMH (STPH)

Tamaño	Abertura de Alimentación mm/pulg	Piñón RPM	Max. KW (HP)	"Setting" lado abierto de abertura descarga - milímetros (pulgadas)										
				125mm (5")	140mm (5½")	150mm (6")	165mm (6½")	175mm (7")	190mm (7½")	200mm (8")	215mm (8½")	230mm (9")	240mm (9½")	250mm (10")
42-65	1065 (42)	600	375 (500)		1380 (1520)	1590 (1750)	1780 (1960)	1955 (2155)						
54-75	1370 (54)	600	450 (600)			2180 (2405)	2370 (2615)	2550 (2810)	2710 (2990)	2865 (3160)				
60-89	1370 (54)	600	600 (800)				3455 (3810)	3740 (4120)	4000 (4410)	4240 (4675)	4470 (4930)	4685 (5165)		
60-110	1525 (60)	514	750 (1000)					4715 (5200)	4945 (5450)	5185 (5715)	5520 (6085)	5840 (6435)	6140 (6770)	6425 (7085)

Tabla 3.8: Giratorias primarias (cortesía de Krupp)

Capacity Table	Capacity in m ³ /h at open side setting (in mm)									
Model	80	100	125	150	175	200	225	250	300	
87-170	365	480	610	750	910					
105-190			970	1120	1280	1450				
137-190			880	1010	1150	1315				
152-230				1370	1550	1750	1910			
152-280						1920	2200	2550	3200	
160-290						2400	2700	3000	3600	

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Fórmulas empíricas.

La capacidad de una giratoria se puede obtener a través de las siguientes expresiones matemáticas:

Taggart

$$T = 0.75 \cdot r \cdot (p - \pi \cdot l) \quad (3.9)$$

Donde:

- T = Capacidad de la máquina (sht).
- p = Longitud periférica de la boca de admisión (pulgadas).
- r = reglaje de la máquina (pulgadas).
- l = longitud de la boca de admisión (magnitud B de la figura anterior).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Giesecking

$$T = f \cdot \rho_a \cdot L \cdot r \cdot t \cdot n \cdot a \cdot u \quad (3.10)$$

Donde:

(T) = Capacidad de la máquina (t/h).

(f) = Coeficiente cuyo valor se obtiene de la tabla siguiente:

Tabla 3.9: Valor de f .

Naturaleza de la alimentación	Mandíbulas Lisas	Mandíbulas Acanaladas
Con sus finos normales	0.000144	0.000106
Finos eliminados	0.000126	0.000088
Cribado cuidadosamente	0.000108	0.000072

(ρ_a) = densidad aparente. Puede tomar el valor de $0.6 \cdot \rho_r$ (ρ_r = densidad real).

(L) = Longitud de la circunferencia media de la boca de salida (cm).

(r) = reglaje (cm). Abertura en posición abierta.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

(*t*) = excentricidad (cm). Oscila entre el 15-30 % del reglaje.

(*n*) = número de oscilaciones por minuto.
Su valor depende de la boca de admisión y se determina por la curva siguiente:

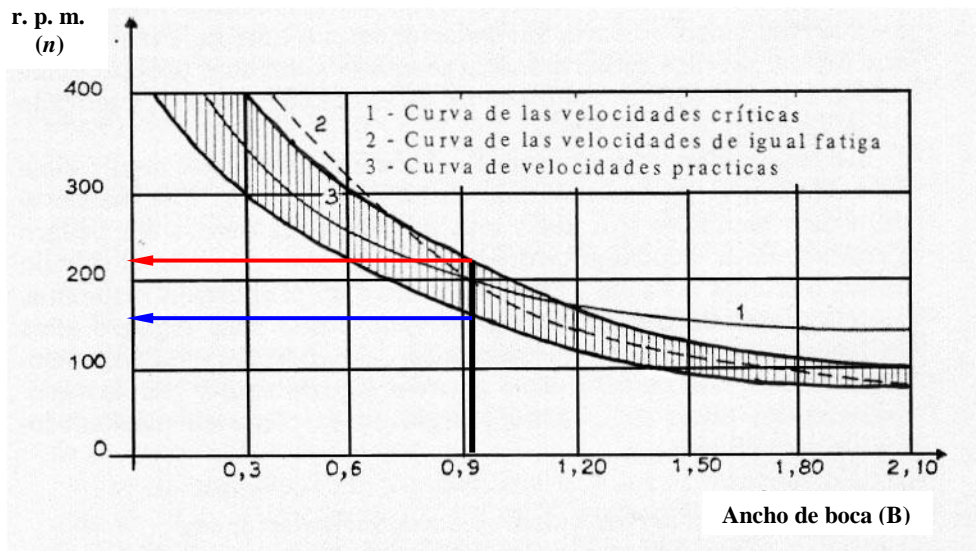


Fig. 3.38: Valor de *n* (r. p. m.) (Blanc, 1975).

(*b*) = Coeficiente que depende del ángulo que forman las mandíbulas en posición cerrada y toma el valor de:

$$a = 1 + 0.03 \cdot (26 - \alpha)$$

Siendo α , el ángulo de pellizco de la trituradora. Para minerales normales ($22 < \alpha < 33$),

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

tomando como valor medio $\alpha = 27^\circ$. Para materiales de bajo coeficiente de fricción, $\alpha = 16^\circ$.

(u) = Coeficiente de utilización. Su valor se obtiene de la gráfica siguiente:

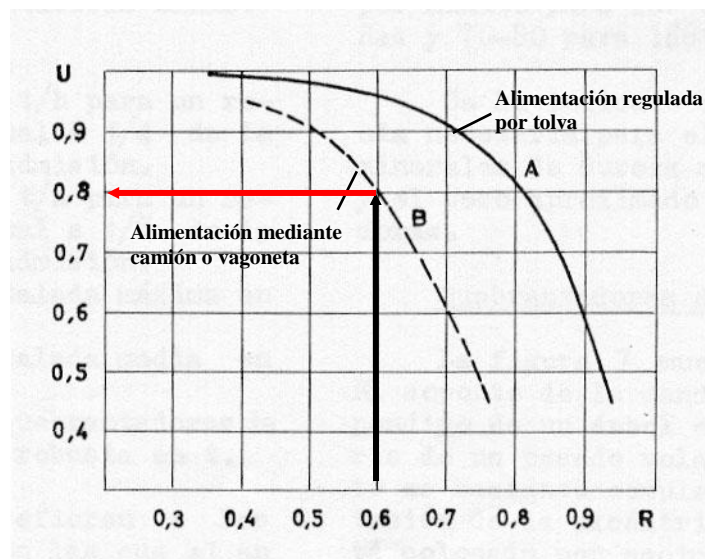


Fig. 3.39: Valor de u . (ETSIMO, 1969)

Siendo: $R = D_{\text{máx.}}/A$ (abertura de alimentación).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

3. Granulometría y % paso por la malla de reglaje.

La granulometría del producto obtenido por una giratoria primaria⁽¹⁾ la podemos obtener de la curva siguiente:

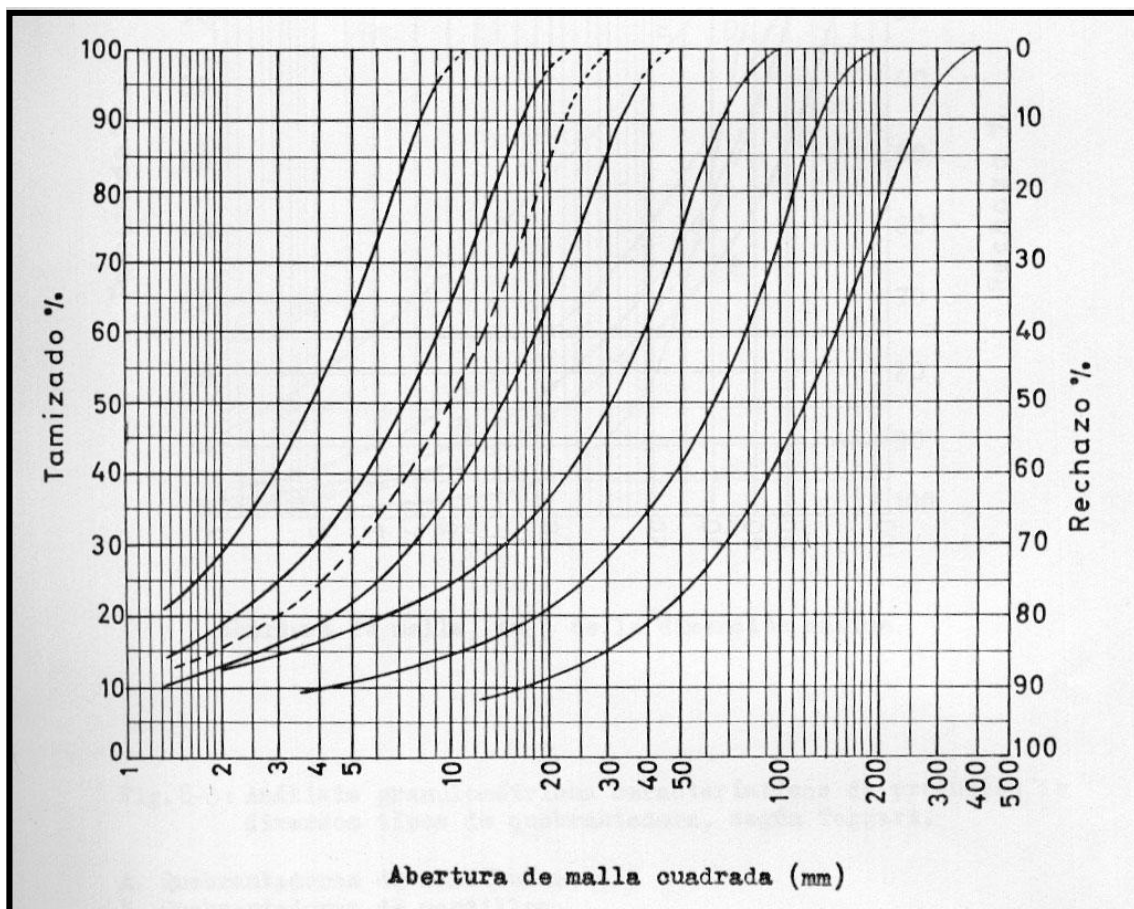


Fig. 3.40: Curvas granulométricas de giratorios primarios y secundarios según Allis (ETSIMV, 1996).

⁽¹⁾ Para los **trituradores de cono** también se utilizan este tipo de curvas. (Circuito Abierto).

La curva representa en el eje de abscisas la abertura de malla cuadrada en mm y en ordenadas el % de paso o de rechazo del material por dicha malla.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.**TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.**

El porcentaje de paso por la malla de reglaje viene dado por la siguiente tabla:

Tabla 3.10: Porcentajes de paso por la malla de reglaje.

Tipo de máquina	Tipo de Alimentación	Caliza (%)	Granito (%)	Cuarcita (%)	Minerales Medios (%)
Giratoria 1ª.....	Todo-Uno	85-90	75-85	65-70	85-90
Giratoria 1ª.....	Finos eliminados *	80-85	70-75	60-65	80-85
Giratoria 2ª (cóncavos curvos).....	Cribado	85-90	80-85	75-80	85-90
Giratoria a gran velocidad (productos finos).....	Cribado **	70-75	65-70	65-70	70-75

* Cribado basto (uso de parrilla fija).

**
Abertura de salida en posición cerrada.

Algunos fabricantes de equipos proporcionan tablas de porcentajes de paso por la malla de reglaje en función del índice de trabajo (W_i).

Tabla 3.11: Porcentajes de paso en función de W_i para giratoria primaria

Índice de Trabajo W_i (Material)	Porcentaje de paso (%)
Blando ($W_i < 10$)	90
Medio ($W_i = 10-15$)	85
Duro ($W_i \geq 15$)	75

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Tabla 3.12: Porcentaje de paso por la malla de reglaje de un triturador de cono.

Indice de Trabajo W_i	Porcentaje de paso (%)
$W_i < 13$	70
$W_i > 13$	60

También se pueden proporcionar tablas de porcentajes de paso por la malla de reglaje en función del tipo de cámara de trituración.

Tabla 3.13: Porcentaje de paso por la malla de reglaje de un hidrocono.

Tipo de cámara	Porcentaje de paso (%)
Cámara gruesa	60
Cámara Media	65-70
Cámara Fina	75

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

4. Potencia de los trituradores giratorios.

La **potencia absorbida**, según Bond, viene dada por:

$$P_a = 10 \cdot w_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q \quad (3.11)$$

Donde:

P_a = Potencia absorbida (kW).

Q = Capacidad de la trituradora (t/h).

Trituradores Giratorios

La **potencia del motor o potencia útil**: $P_m = 1.6 \cdot P_a$

Trituradores de Cono

La **potencia del motor o potencia útil**: $P_m = 1.3 \cdot P_a$

Con el dato de la potencia útil se entrará en las tablas de los fabricantes, para comprobar que el motor del modelo seleccionado posee como mínimo este valor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Elementos del precio de coste de un giratorio.

Amortización:

Giratorios primarios de buena fabricación: **20 años.**

Giratorios secundarios y conos: **10 años.**

Fuerza motriz: (en el caso de alimentación continua)

50-75 % de la potencia instalada para giratorios primarios.

60-80 % de la potencia para los trituradores de 2ª y 3ª reducción.

Mano de obra:

Debe considerarse un vigilante por máquina en machaqueo primario, mientras que un vigilante es suficiente en trituración secundaria a cargo de una batería de giratorios.

Desgaste:

Los principales elementos de desgaste son las excéntricas, los engranajes, los revestimientos, el cono o nuez, los cóncavos, elementos del sistema hidráulico, etc.

Mantenimiento general: Se refiere al engrase, los reglajes periódicos, el cambio de piezas, etc.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Comparación entre la Giratoria Primaria y el Triturador de Mandíbulas (tipo Blake).

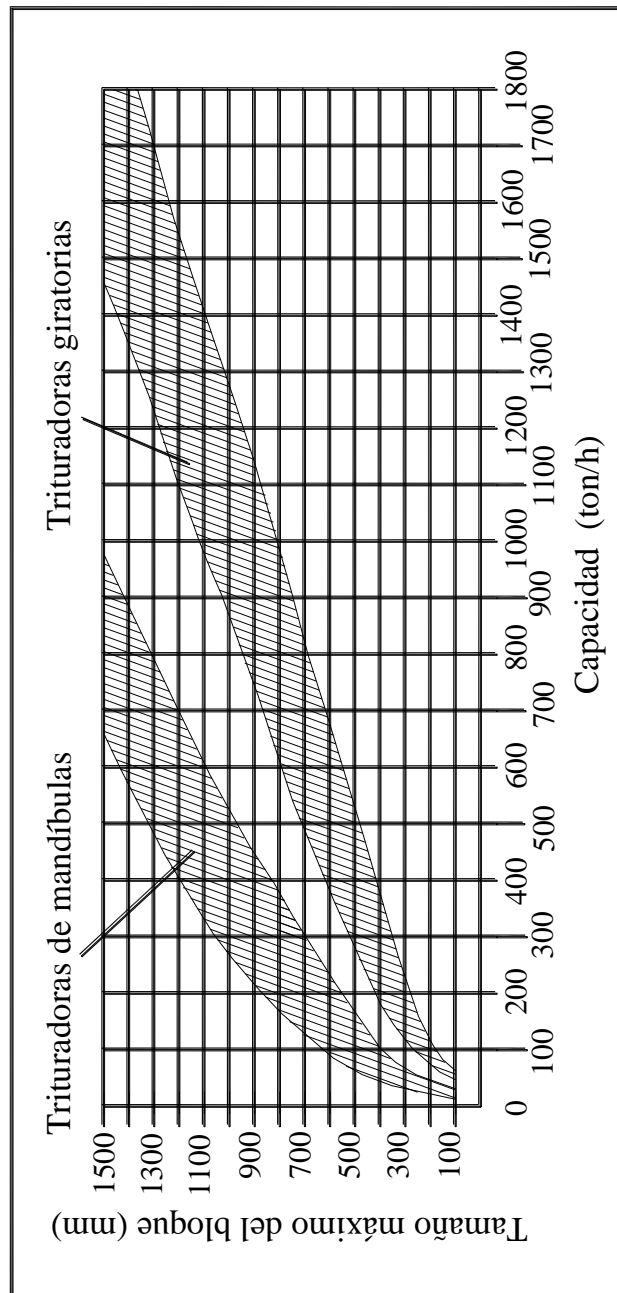
Tabla 3.14: Comparación entre la giratoria y el triturador Blake (Taggart).

Característica	Equipo más adecuado
Capacidad > 800 – 1000 t/h	Giratoria
Tamaño de admisión a igual capacidad (< 800 – 1000 t/h)	Mandíbulas
Peso a igualdad de abertura de entrada	2·Mandíbulas = Giratoria
Capacidad a igualdad de tamaño de alimentación y razón de reducción.	Giratoria = 3.5 ·Mandíbulas
Precio a igualdad de boca de entrada	Giratoria = 3·Mandíbulas
Altura y profundidad del edificio.	Mandíbulas.
Esfuerzos en fundaciones	Mandíbulas
Potencia instalada	Giratoria = 0.8· Mandíbulas
Consumo de energía en vacío	Giratoria = 0.6· Mandíbulas
Costo de piezas de desgaste	Mandíbulas
Materiales húmedos y extraduros	Mandíbulas
Descarga directa	Giratoria
Factor de forma del producto	Giratoria
Mantenimiento	Mandíbulas

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

En trituración primaria una de las características que puede determinar el empleo de mandíbulas o giratoria es la capacidad de tratamiento o caudal horario (ton/h). Ver el siguiente gráfico.



BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

EQUIPOS QUE TRABAJAN A COMPRESIÓN.

(De acción continua)

3.3. Trituradores de Cilindros.

Los diferentes equipos que vamos a describir en este apartado se caracterizan por fragmentar el material entre dos cilindros, exceptuando el equipo de cilindro único y mandíbula y el equipo de cilindro dentado y transportador de racletas; incluidos por sus analogías técnicas.

Los cilindros estarán enfrentados a lo largo de su generatriz, normalmente en posición horizontal, girando en sentidos opuestos sobre sus propios ejes y separados una cierta distancia que puede llegar a ser casi cero.

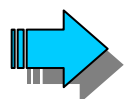
El material a triturar será arrastrado entre los dos cilindros y reducido a un tamaño que corresponde a la separación entre los dos cilindros.

El movimiento de los cilindros lo provocan dos motores eléctricos independientes (uno para cada cilindro), que harán girar a los cilindros con igual velocidad o diferente velocidad.

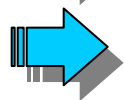
BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

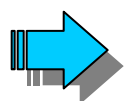
En este apartado (3.3), vamos a estudiar un grupo de equipos que se clasifican en:



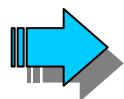
Trituradores de cilindros dentados.



Trituradores de cilindros lisos.



Triturador de cilindro dentado y mandíbula.



Triturador de cilindro dentado único y transportador de racletas.

El triturador de cilindro dentado y mandíbula, a pesar de que difiere en la forma de triturar el material, se incluye dentro de los trituradores de cilindros por sus analogías técnicas.

Los trituradores de **cilindros lisos** o con **finas acanaladuras** van a trabajar por **compresión simple**, excepto cuando los cilindros giran a diferentes velocidades, en este caso los cilindros trabajarán a compresión (efecto principal) junto con atricción-frotamiento para los cilindros lisos y con atricción-corte para los cilindros acanalados.

Los **trituradores de cilindros dentados** trabajarán a **cizalladura** o **corte**, como consecuencia del trabajo de los dientes y las picas, y a **compresión** como consecuencia del efecto de los cilindros al obligar a pasar el material entre ellos, previamente atacado por los dientes.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradores de Cilindros Dentados:

Como su nombre indica, estarán formados por dos cilindros dentados (figura 3.41). Los dientes podrán ser cuchillas, dientes de tiburón, picas, estrías, resaltes, etc.

El diseño de los dientes se ha desarrollado mucho con el fin de conseguir una **fragmentación regular** y una mínima **producción de finos** (supertriturados).

Estos trituradores disponen las hileras de dientes intercalados, actuando estos equipos de alguna manera como **cribas**.

Los cilindros o rodillos estarán formados por:

- ✓ **Una camisa de acero** al manganeso sobre la cual van los dientes, bien fundidos o bien colocados por sistemas de fijación.
- ✓ **Un conjunto de segmentos** en forma de placa dentadas fijadas alrededor de una alma cilíndrica y poligonal (fig. 3.42).
- ✓ **Un conjunto de cilindros dentados** colocados directamente alrededor del eje del cilindro.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.



Fig. 3.41: Triturador de cilindros dentados (Cortesía de Krupp Fördertechnik).

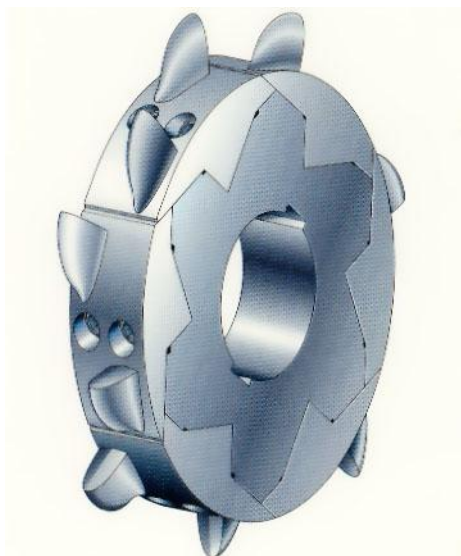


Fig. 3.42: Segmentos dentados intercambiables (Cortesía de Krupp Fördertechnik).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Un rodillo va montado contra unos topes sobre los cuales es presionado por unos muelles o sistema hidráulico (ver figura 3.43), que hacen de sistema de seguridad (retrocede el rodillo ante el paso de material metálico o intriturables).

El otro rodillo va montado sobre unos soportes o tornillos que permiten **regular** su posición con respecto al otro cilindro (control de la abertura de salida).

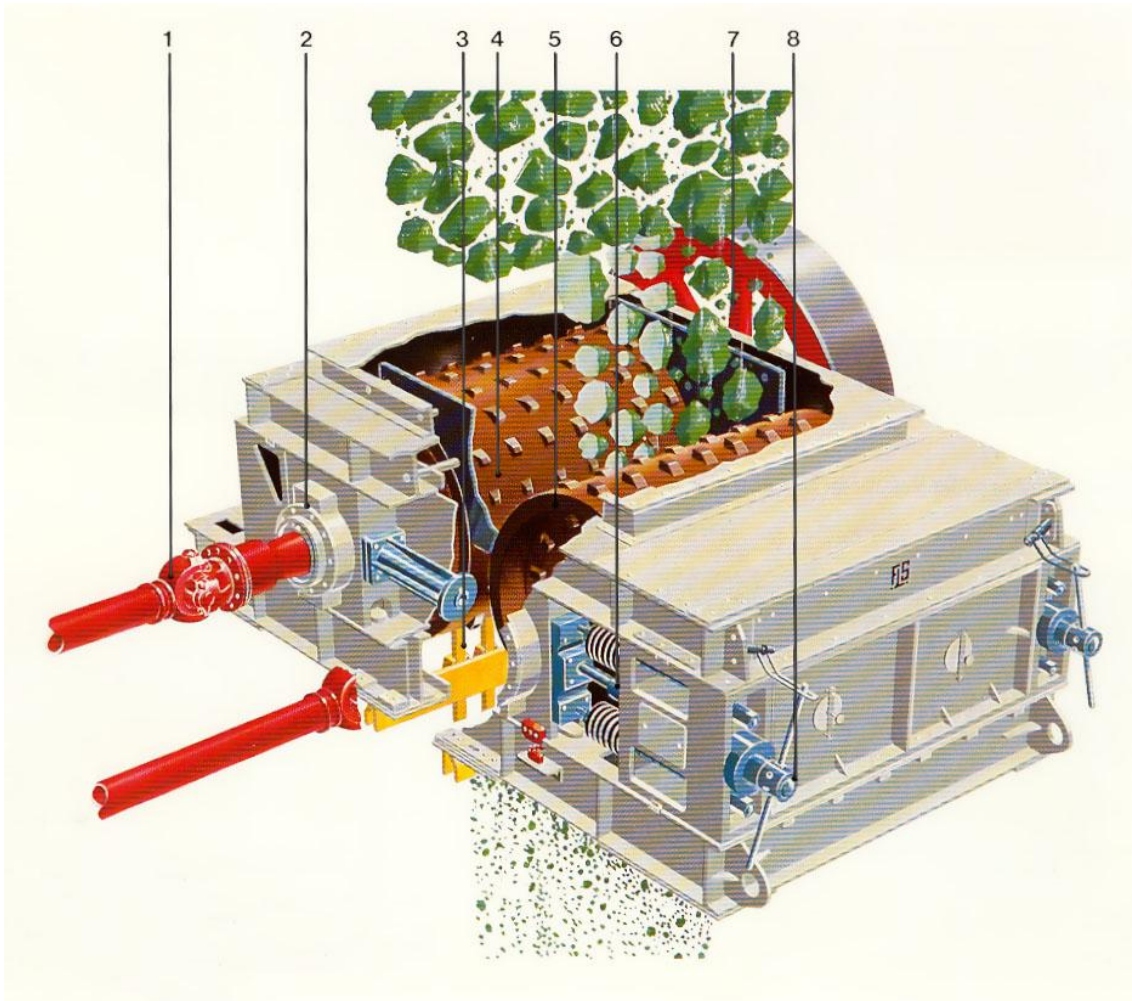


Fig. 3.43: Triturador de cilindros dentados (Cortesía de FLSmidth).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Principales partes del triturador de la figura 3.43:

1. Árbol Cardan.
2. Cojinete del cilindro.
3. Raspador.
4. Cilindro fijo.
5. Cilindro ajustable.
6. Protección contra sobrecargas.
7. Volante.
8. Tornillo para el reglaje de la abertura de salida.

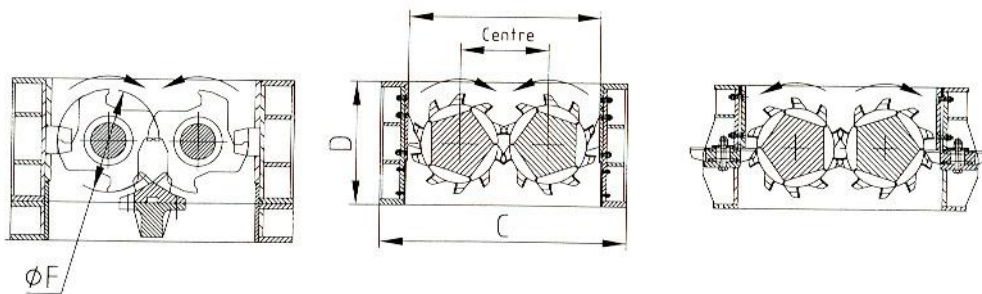
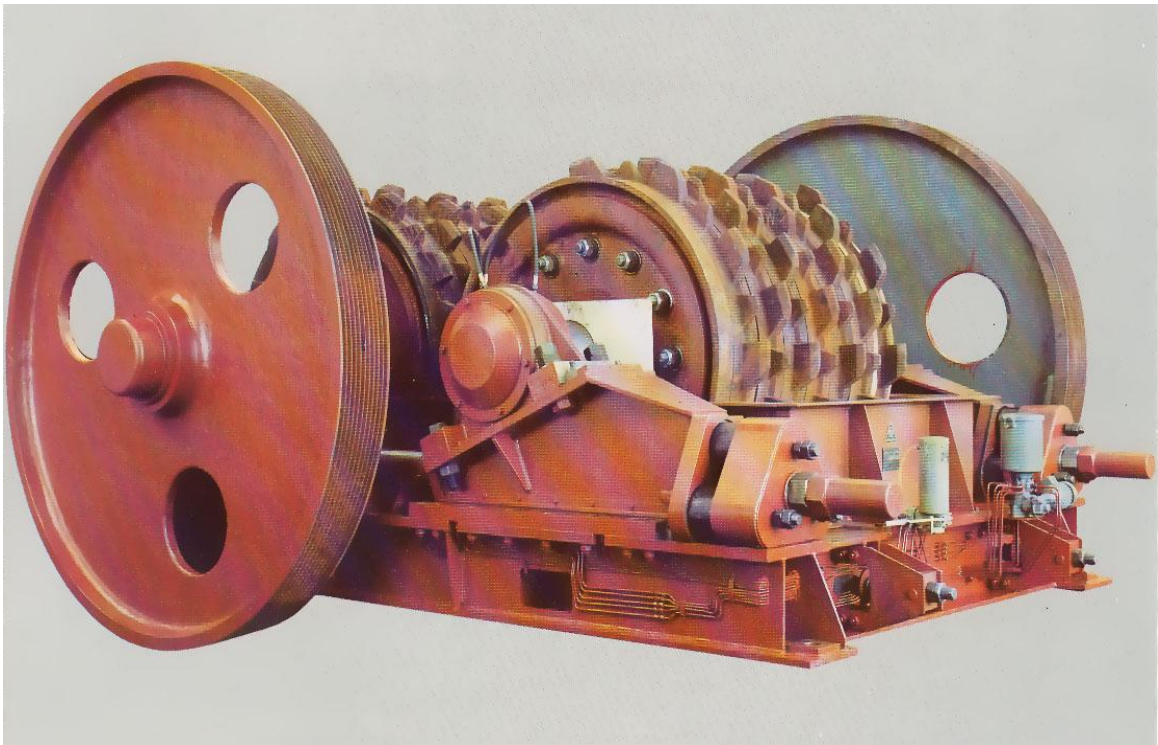


Fig. 3.44: Diferentes tipos de cilindros dentados.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.



Equipos de 2x250 kW, 95 ton, \varnothing 2200 mm y una capacidad de 1250 m³/h

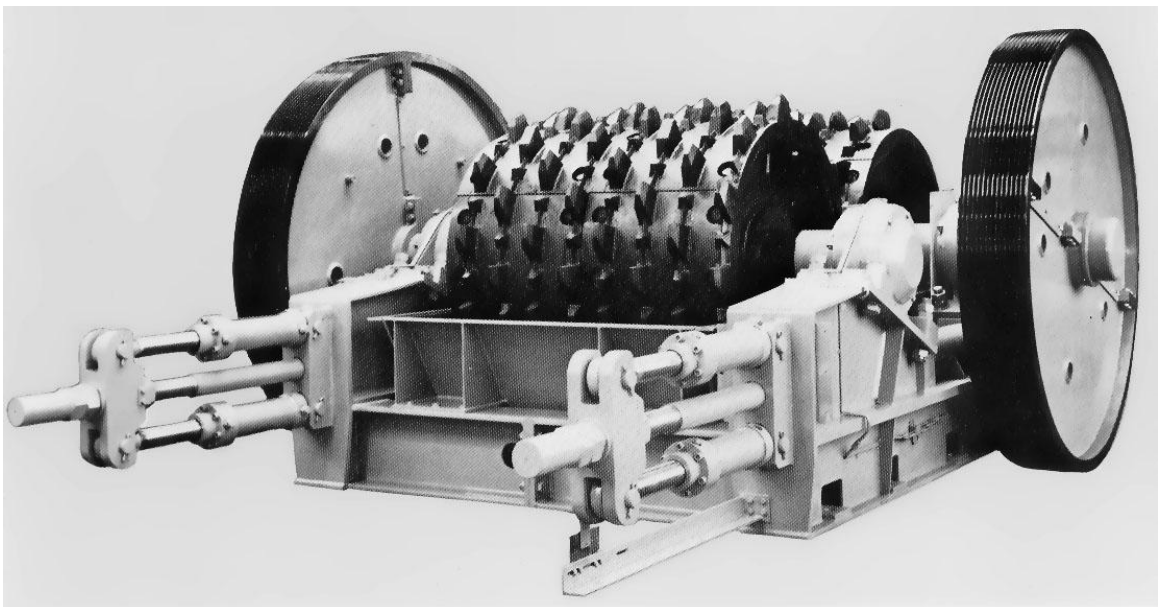


Fig. 3.45: Equipos dentados de trituración primaria.

(Imágenes páginas 81-82: Cortesía ThyssenKrupp)

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

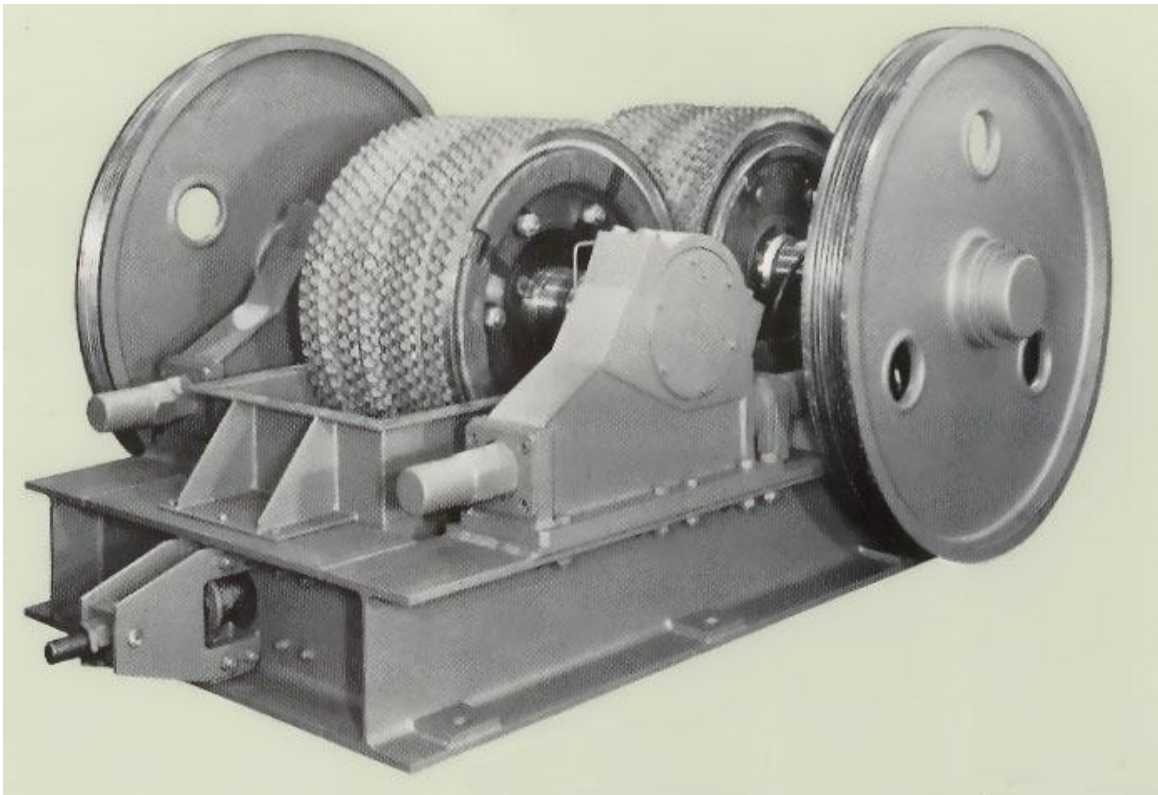


Fig. 3.46: Triturador de cilindros dentados para trituración secundaria.

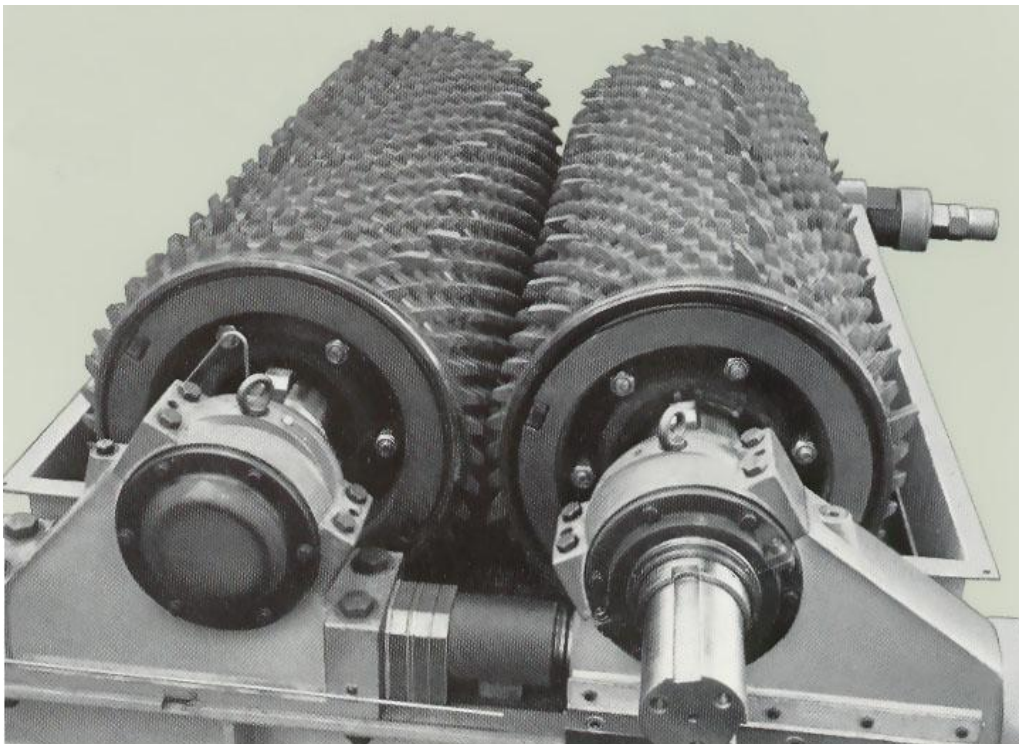


Fig. 3.47: Triturador de cilindros dentados de 2x75 kW (\varnothing 1250 mm.).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Estos equipos se utilizarán en la trituración de rocas de **dureza media a blanda** ($< 1000-1100 \text{ kg/cm}^2$) y **poco abrasivas** ($< 5-6 \%$ de sílice o pirita libres): caliza, dolomía, caolín, yeso, pizarra y carbón.

Estas máquinas pueden utilizarse en:

1. Trituración primaria:

- Tamaño de la alimentación: 500-600 mm.
- Tamaño del producto final: 0-200 mm.

2. Trituración secundaria:

- Tamaño de la alimentación: 0-200 mm.
- Tamaño del producto final: 0-40 mm.

La abertura de entrada no debe ser menor que el reglaje de la máquina anterior y su longitud deber ser 4-5 veces el reglaje.

Se emplean cilindros dentados en una etapa secundaria sólo cuando en la etapa anterior también es de cilindros dentados.

3. Trituración terciaria

- Tamaño de la alimentación: 0-40 mm.
- Tamaño del producto final: 0-15 mm.

Esta etapa puede llevarse a cabo con cilindros lisos.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Ventajas de la trituradora de cilindros dentados:

- ⇒ Máquina robusta, sencilla y de fácil mantenimiento.
- ⇒ Más económica que la trituradora de mandíbulas.
- ⇒ Adecuada para el tratamiento de material húmedo y pegadizo.
- ⇒ Altura limitada.
- ⇒ Dispositivo de seguridad eficaz.
- ⇒ Granulometría de salida muy regular. exenta de grandes trozos y de finos.

Inconvenientes de la trituradora de cilindros dentados:

- ⇒ No son adecuadas para materiales duros y/o abrasivos.
- ⇒ Relación de reducción limitada 4:1.
- ⇒ Necesitan una alimentación uniforme a lo largo de la generatriz del cilindro.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Dimensionado de una Trituradora
de Cilindros Dentados

Para el dimensionado de una trituradora de cilindros dentados los parámetros que hay que estudiar son los siguientes:

1. $D_{\text{máx.}}$ y Diámetro de los Cilindros.
2. Capacidad y Reglaje.
3. Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
4. Potencia absorbida y Potencia motor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

1. $D_{\text{máx.}}$ y Diámetro de los Cilindros.

El diámetro de los cilindros viene dado en función del tamaño máximo del bloque que hay que triturar ($D_{\text{máx.}}$).

$$D_{\text{máx.}} = 1/3 \cdot \varnothing_{\text{cilindro}} \Rightarrow \text{Trituradoras de serie normal}$$

$$D_{\text{máx.}} = (1/3 - 2/3) \cdot \varnothing_{\text{cilindro}} \Rightarrow \text{Trituradoras de serie pesada}$$

2. Capacidad y Reglaje.

En los trituradores de cilindros dentados, **el reglaje** nos lo define la distancia existente entre la punta de un diente y la concavidad del cilindro que hay enfrente a ese diente.

La capacidad de estos trituradores la podemos obtener por medio de:

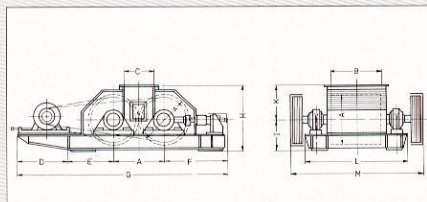
- ⇒ **Tablas** (proporcionadas por los fabricantes de equipos).
- ⇒ **Fórmulas empíricas.**

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

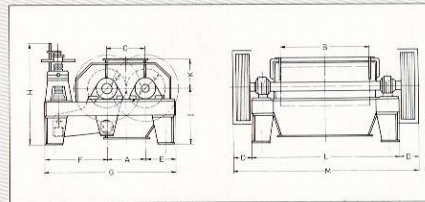
Tablas:

Utilizaremos las tablas de las casas fabricantes, en las que entraremos con los valores de diámetro de cilindros, reglaje, etc., obteniendo la capacidad cuyo valor habrá que corregir según el caso de que se trate.

(Datos Fabricante - Cortesía Aubema)



Type 2321 with mechanical horizontal adjustment



Type 2322 with mechanical vertical adjustment

DOUBLE ROLL CRUSHER TYPE 2321 WITH MECHANICAL HORIZONTAL ADJUSTMENT														
Size	Driving power 2 x kW	Weight kg	A Roll Ø mm	B Roller width mm	C mm	D mm	E mm	F mm	G mm	H mm	I mm	K mm	L mm	M mm
2321/05-08	15-37	3650	500	800	500	270	530	1400	2430	790	430	360	1740	2280
2321/05-10	15-37	4300	500	1000	500	270	630	1400	2530	790	430	360	1940	2480
2321/05-12	22-45	5100	500	1200	500	270	630	1400	2530	850	450	400	2140	2650
2321/05-15	22-45	6200	500	1500	500	270	630	1400	2530	850	450	400	2440	2980
2321/06-10	22-55	6000	650	1000	650	270	630	1485	2765	935	475	460	1910	2480
2321/06-12	22-75	7300	650	1200	650	270	630	1485	2765	935	475	460	2110	2650
2321/06-15	45-110	9500	650	1500	650	315	630	1510	2790	1015	535	480	2490	3220
2321/06-18	45-110	12100	650	1800	650	345	630	1560	2840	1080	600	480	3050	3740
2321/08-10	37-75	9200	800	1000	800	270	700	1560	3060	1105	555	550	1890	2430
2321/08-12	55-90	10800	800	1200	800	270	700	1560	3060	1135	585	550	2440	2980
2321/08-15	75-110	12600	800	1500	800	375	700	1560	3060	1145	595	550	2660	3410
2321/08-18	75-110	15100	800	1800	800	390	700	1560	3060	1205	625	580	2980	3760
2321/10-12	75-110	15400	1000	1200	1000	390	840	1560	3400	1225	625	600	2440	3220
2321/10-15	75-110	18000	1000	1500	1000	390	840	1785	3625	1300	675	630	2720	3500
2321/10-18	110-160	21500	1000	1800	1000	390	840	1785	3625	1355	675	680	3020	3800
2321/12-12	75-132	21000	1200	1200	1200	390	880	1870	3950	1435	675	760	2440	3220
2321/12-15	110-160	25500	1200	1500	1200	390	1020	1870	4090	1565	775	790	2730	3510
2321/12-18	110-200	29400	1200	1800	1200	410	1020	1870	4090	1565	775	790	3030	3850
2321/12-20	132-200	33200	1200	2000	1200	410	1020	1870	4090	1640	815	825	3300	4120
2321/14-10	75-90	25300	1400	1000	1400	430	1100	1980	4480	1690	815	875	2440	3300
2321/14-12	75-110	30000	1400	1200	1400	430	1100	1980	4480	1690	815	875	2640	3500
2321/14-16	90-132	38000	1400	1600	1400	450	1160	1980	4540	1735	835	900	3040	3940
2321/14-20	110-160	43500	1400	2000	1400	550	1300	2100	4800	1815	865	950	3600	4700
2321/14-25	132-250	54000	1400	2500	1400	570	1450	2300	5150	1815	865	950	4700	5840
2321/16-12	90-132	32000	1600	1200	1600	570	1550	2500	5620	2030	980	1050	2840	3980
2321/16-15	110-160	39000	1600	1500	1600	570	1550	2500	5650	2030	980	1050	3140	4280
2321/16-18	132-200	46000	1600	1800	1600	600	1600	2600	5800	2030	980	1050	3500	4700

DOUBLE ROLL CRUSHER TYPE 2322 WITH MECHANICAL VERTICAL ADJUSTMENT														
Size	Driving power 2 x kW	Weight kg	A Roll Ø mm	B Roller width mm	C mm	D mm	E mm	F mm	G mm	H mm	I mm	K mm	L mm	M mm
2322/05-08	15-37	4300	500	800	500	270	430	1100	2030	1680	850	460	1700	2240
2322/05-10	15-37	5100	500	1000	500	270	530	1100	2130	1680	850	460	1900	2440
2322/05-12	22-45	6000	500	1200	500	270	530	1100	2130	1680	850	460	2100	2640
2322/05-15	22-45	7200	500	1500	500	270	530	1100	2130	1680	850	460	2400	2940
2322/06-10	22-55	7000	650	1000	650	270	530	1150	2330	1750	925	525	1900	2440
2322/06-12	22-75	8500	650	1200	650	270	530	1150	2330	1750	925	525	2100	2640
2322/06-15	45-110	11000	650	1500	650	315	530	1150	2330	1750	925	525	2400	3030
2322/06-18	45-110	14000	650	1800	650	345	530	1200	2380	1750	925	525	2700	3390
2322/08-10	37-75	10500	800	1000	800	270	600	1200	2600	1800	1005	610	1990	2530
2322/08-12	55-90	12500	800	1200	800	270	600	1200	2600	1800	1005	610	2200	2740
2322/08-15	75-110	14500	800	1500	800	375	600	1200	2600	1850	1005	610	2500	3250
2322/08-18	75-110	17000	800	1800	800	390	600	1200	2600	1850	1005	610	2800	3580
2322/10-12	75-110	17500	1000	1200	1000	390	700	1225	2925	1980	1080	680	2210	2990
2322/10-15	75-110	21000	1000	1500	1000	390	700	1225	2925	1980	1080	680	2510	3290
2322/10-18	110-160	25000	1000	1800	1000	390	700	1225	2925	1980	1080	680	2810	3590
2322/12-12	75-90	24500	1200	1200	1200	390	750	1325	3275	2030	1180	750	2290	3070
2322/12-15	110-160	29500	1200	1500	1200	390	850	1325	3375	2030	1180	750	2490	3270
2322/12-18	110-200	34500	1200	1800	1200	410	850	1325	3375	2030	1180	750	2800	3620
2322/12-20	132-200	38500	1200	2000	1200	410	850	1325	3375	2030	1180	750	3000	3820
2322/14-10	75-90	29000	1400	1000	1400	430	1000	1500	3900	2150	1350	900	2200	3060
2322/14-12	75-110	34500	1400	1200	1400	430	1000	1500	3900	2150	1350	900	2400	3260
2322/14-16	90-132	43500	1400	1600	1400	450	1050	1500	3950	2200	1350	900	2800	3700
2322/14-20	110-160	50000	1400	2000	1400	550	1100	1600	4100	2200	1350	900	3200	4300
2322/14-25	132-200	62000	1400	2500	1400	570	1250	1600	4250	2300	1350	900	3700	4840
2322/16-12	90-132	34500	1600	1200	1600	570	1350	1750	4700	2300	1520	1050	2600	3740
2322/16-15	110-160	42000	1600	1500	1600	570	1350	1800	4750	2300	1520	1050	2900	4040
2322/16-18	132-200	49000	1600	1800	1600	600	1400	1800	4800	2400	1520	1050	3200	4400

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Fórmula empíricas:

Existe la siguiente expresión para el cálculo de la capacidad:

$$T = k \cdot d \cdot v \cdot L \quad (3.12)$$

Donde:

(T) = Capacidad de la máquina (t/h).

(k) = Coeficiente que depende del tipo de material
Para el caso de carbones:

$k = 0.4$ para la antracita.

$k = 0.5$ para carbón duro.

$k = 0.6$ para carbón medio.

$k = 0.8$ para carbón blando (friable).

(d) = Dimensión de la malla por la que pasa el 95 %
del producto triturado (d_{95}) (mm).

(v) = Velocidad periférica de los cilindros (m/s).

(L) = Longitud de los cilindros (m).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

3. Granulometría y % paso por la malla de reglaje.

La granulometría del producto obtenido la podemos determinar por la curva siguiente:

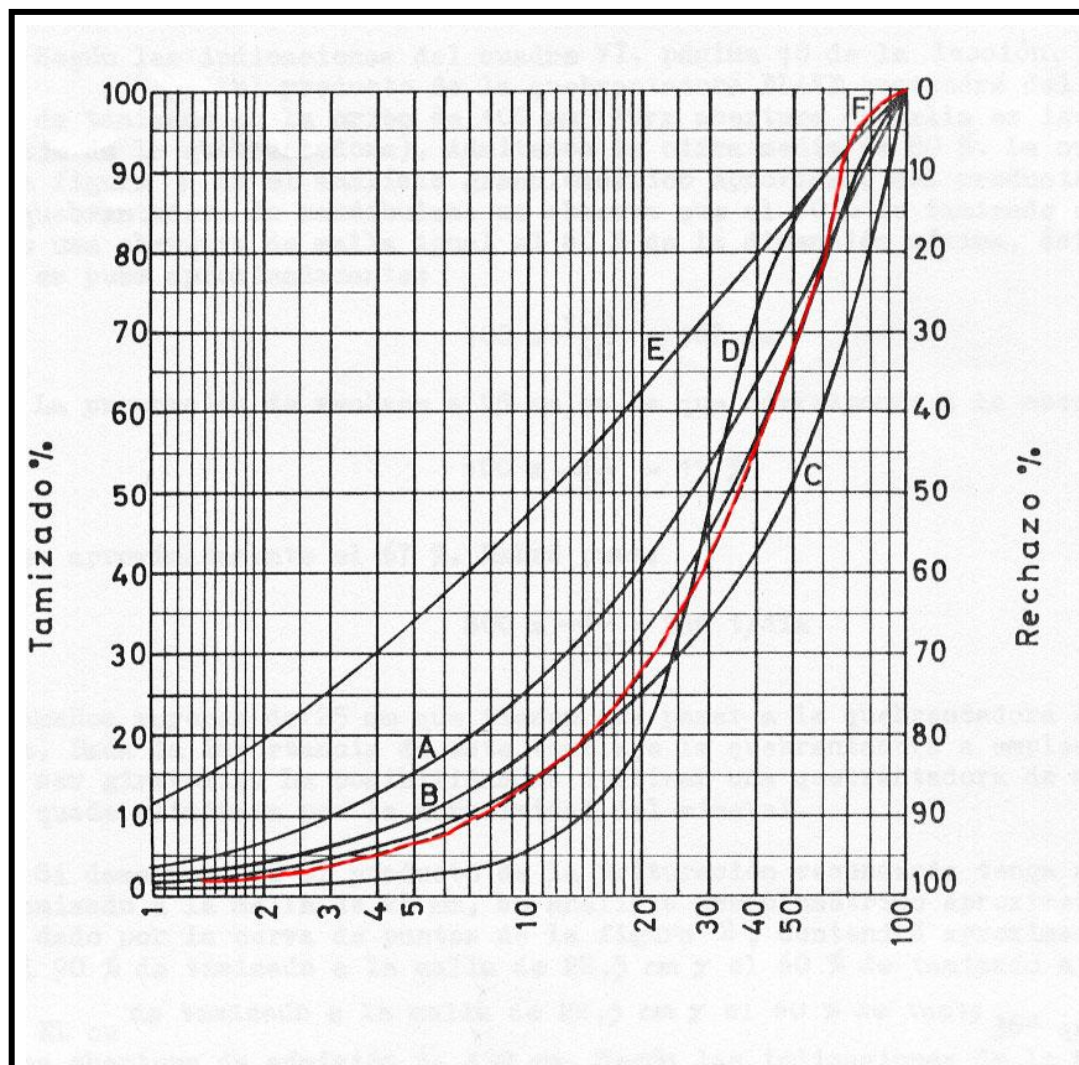


Fig. 3.48: Curvas granulométricas de cilindros dentados (ETSIMV, 1996).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

La curva representa en el eje de abscisas la abertura de malla cuadrada en % de la dimensión máxima y en ordenadas los % de paso o rechazo del material para dicha malla.

Normalmente el **paso del producto obtenido por una malla igual al reglaje es de un 80 a 85 %.**

4. Potencia de los trituradores de cilindros dentados.

La **potencia absorbida**, según Bond, viene dada por:

$$P_a = 10 \cdot w_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q \quad (3.13)$$

Donde:

P_a = Potencia absorbida (kW).

Q = Capacidad de la trituradora (t/h).

Trituradores de Cilindros Dentados

La **potencia del motor o potencia útil**: $P_m = 1.3 \cdot P_a$

Con el dato de la potencia útil se entrará en las tablas de los fabricantes, para comprobar que el motor del modelo seleccionado posee como **mínimo** este valor.

Trituradores de Cilindros Lisos:

Los trituradores de cilindros lisos tienen la misma morfología que la estudiada para los trituradores de cilindros dentados, con la particularidad de que en lugar de montar cilindros dentados, montan cilindros lisos (ver figura 3.49).

Existen cilindros con camisas que presentan acanaladuras para mejorar la fricción, las cuales son desmontables en forma de placas individuales que forran al cilindro por medio de sistemas de fijación.

Habrán dos formas de alimentar estas máquinas:

Una es a **tragante lleno**, situación que ocurre cuando siempre hay material sobre los dos rodillos; produciéndose compresión y roce entre los granos del mineral. Se va a producir muchos finos y el equipo trabaja a la máxima capacidad.

Y la otra es **en una capa**; en esta situación el material se alimenta de forma cuidada (casi en una capa monogramo), trabajando la máquina casi por compresión pura de los granos entre los cilindros produciéndose muy pocos finos, descendiendo sin embargo la capacidad.

La relación de reducción normal es de **4:1**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

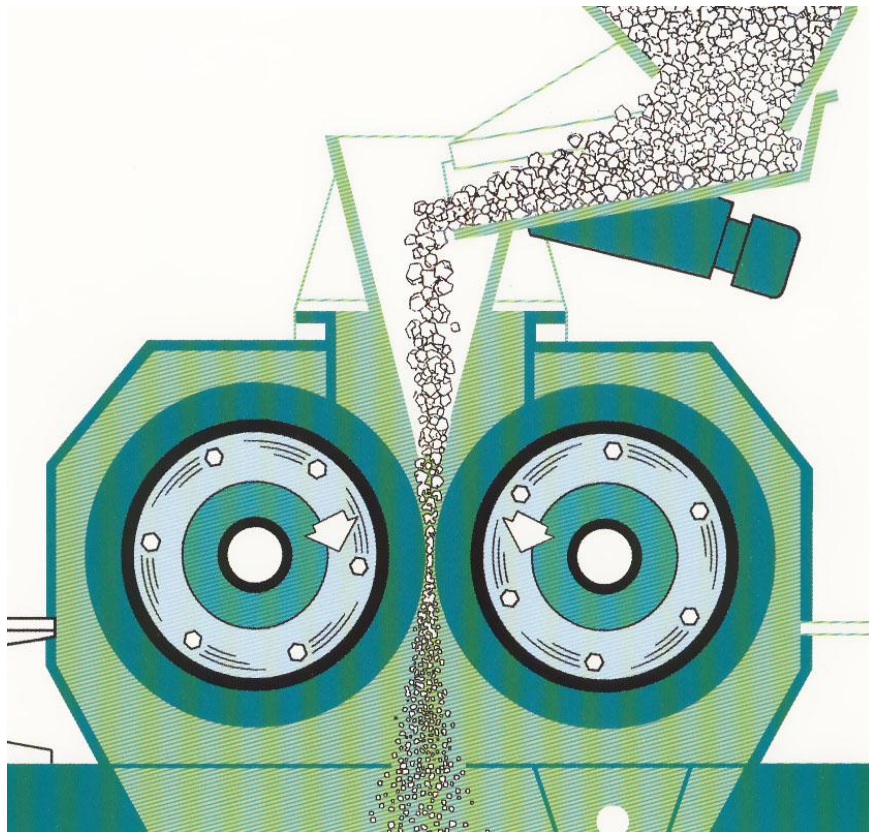


Fig. 3.49: Esquema de un triturador de cilindros lisos (Cortesía Aubema - Sandvik).

Son equipos que actúan como máquinas de Trituración **Secundaria**, **Terciaria** e incluso **Molienda (2-3 mm)**.

Se utilizan en la trituración secundaria de sales de potasas y sal gema. Su uso en la industria minera y del árido es muy escasa, pues han sido desplazados por las trituradoras de impactos y martillos para minerales blandos o de dureza media y por los conos para minerales duros y abrasivos. Tienen un campo importante, sin embargo, en la industria alimentaria y agrícola.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

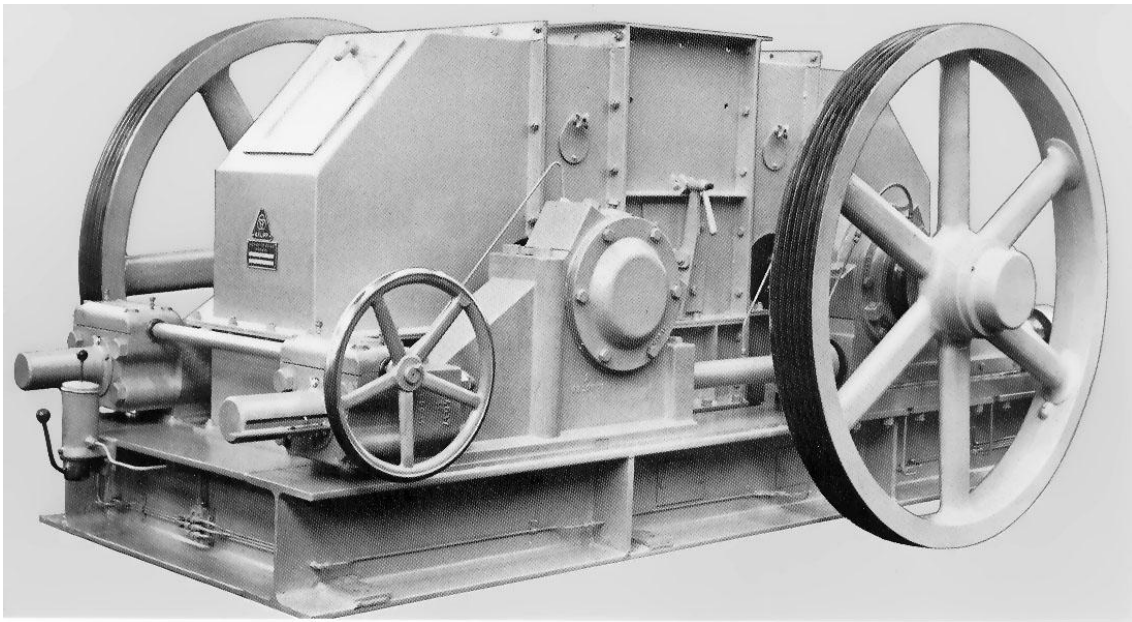


Fig. 3.50: Equipo de cilindros lisos: \varnothing 1.8 m, 58 ton., 2x75 kW, 140 ton/h.
(Cortesía de Krupp Fördertechnik).

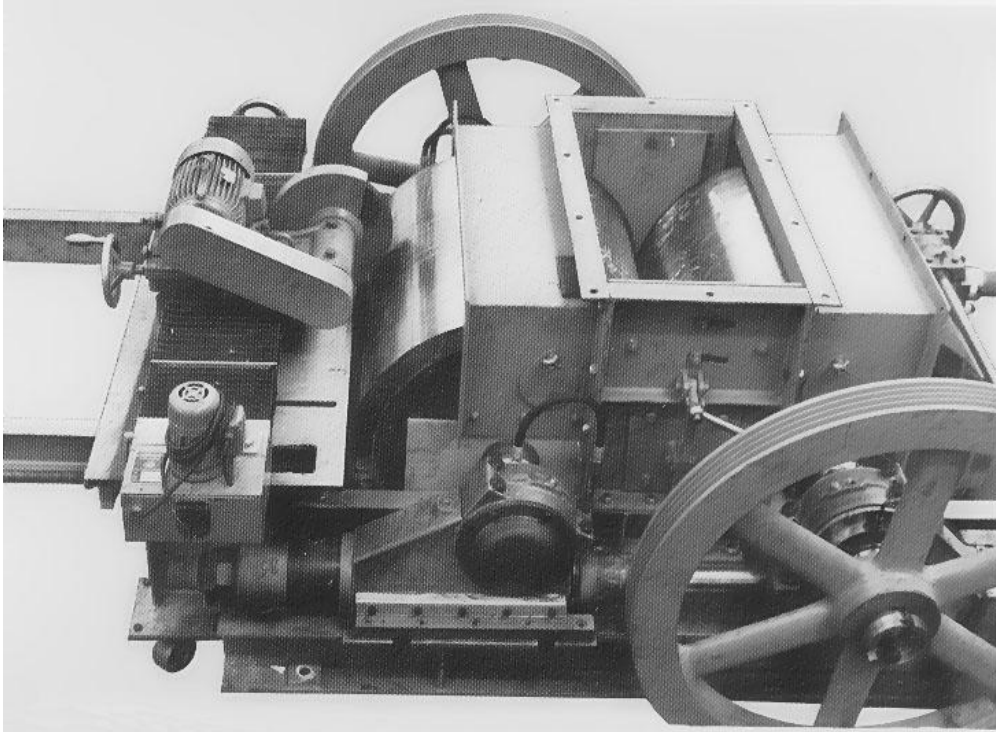


Fig. 3.51: Boca de entrada de un triturador de cilindros lisos
(Cortesía de Krupp Fördertechnik).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Ventajas de la trituradora de cilindros lisos:

- ⇒ Máquina robusta, sencilla y de fácil mantenimiento.
- ⇒ Adecuada para el tratamiento de material húmedo y muy pegadizo (arcilloso).
- ⇒ Dispositivo de seguridad eficaz.
- ⇒ Granulometría de salida muy regular exenta de finos, sobre todo si se alimenta a una sola capa y en circuito cerrado.

Inconvenientes de la trituradora de cilindros lisos:

- ⇒ No son adecuadas para materiales duros y/o abrasivos.
- ⇒ Ángulo de pellizco muy pequeño, por lo que para pequeños aumentos del tamaño de alimentación, aumenta enormemente el diámetro del cilindro.
- ⇒ Relación de reducción de (6-7):1, trabajando a boca llena, pero con un aumento notable de finos.
- ⇒ Necesitan una alimentación uniforme a lo largo de la generatriz del cilindro.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Dimensionado de una Trituradora de Cilindros Lisos

Para el dimensionado de una trituradora de cilindros lisos los parámetros que hay que estudiar son los siguientes:

1. $D_{\text{máx.}}$ y Diámetro de los Cilindros.
2. Capacidad y Reglaje.
3. Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
4. Potencia absorbida y Potencia motor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

1. $D_{\text{máx.}}$ y Diámetro de los Cilindros.

El diámetro de los cilindros (\emptyset) viene dado en función del tamaño máximo del bloque que hay que triturar ($D_{\text{máx.}}$).

- Para **minerales secos** (coeficiente de fricción elevado) y **velocidad de los cilindros baja** (4-6 m/s):

$$\emptyset_{\text{cilindro.}} \geq 14 \cdot D_{\text{máx}}$$

- Para **minerales húmedo** (coeficiente de fricción bajo) y **velocidad de los cilindros alta** (8-10 m/s):

$$\emptyset_{\text{cilindro.}} \geq 33 \cdot D_{\text{máx}}$$

Se puede tomar como valor medio:

$$\emptyset_{\text{cilindro.}} \geq 22 \cdot D_{\text{máx}}$$

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

2. Capacidad y Reglaje.

En los trituradores de cilindros lisos, **el reglaje** nos lo define la distancia existente entre la cara externa de los cilindros en la línea que une los ejes.

La capacidad de estos trituradores la podemos obtener por medio de:

- ⇒ **Tablas** (proporcionadas por los fabricantes de equipos).
- ⇒ **Ábacos.**
- ⇒ **Fórmulas empíricas.**

Tablas:

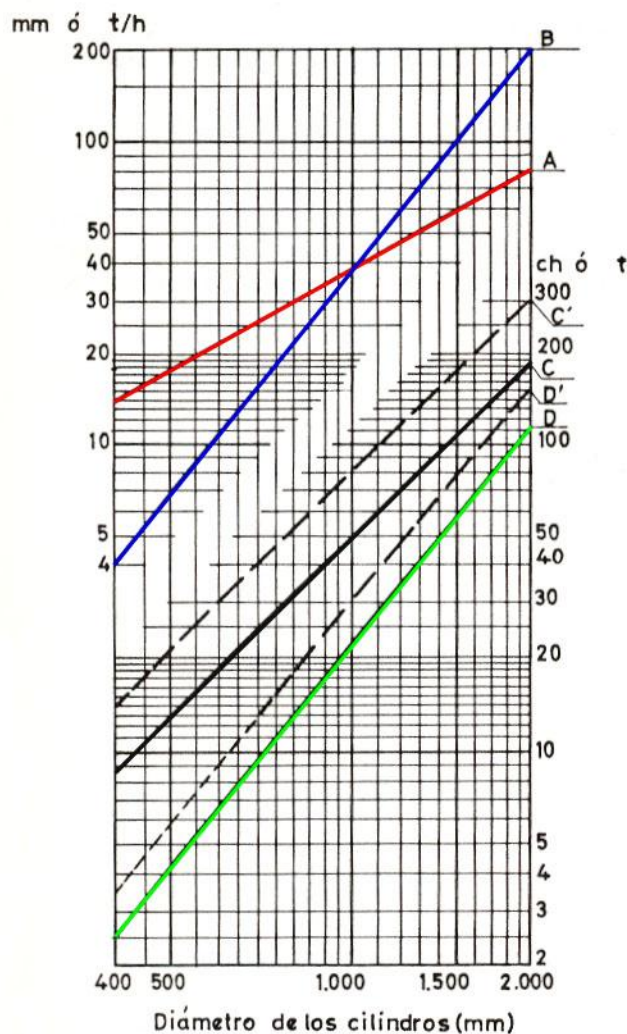
Utilizaremos las tablas de las casas fabricantes, en las que entraremos con los valores de diámetro de cilindros, reglaje, etc., obteniendo la capacidad cuyo valor habrá que corregir según el caso de que se trate (ver ejemplo de tabla en triturador de cilindros dentados).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Ábacos:

La capacidad se determina por el ábaco siguiente, donde en abscisas se representa el diámetro del cilindro (mm):



A: Dimensión máxima de admisión (mm)

B: Capacidad (ton/h) para una relación de reducción de 4

C: Potencia media (C.V.)

C': Potencia máxima (C.V.)

D: Peso de la máquina (ton) serie robusta

D': Peso de la máquina (ton) serie extra-robusta.

Fig. 3.52: Ábaco de características de un triturador de cilindros lisos (ETSIMO, 1969).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Fórmula empíricas:

Existe la siguiente expresión para el cálculo de la capacidad:

$$T = 3,6 \cdot L \cdot e \cdot v \cdot \rho_a \quad (3.14)$$

Donde:

(T) = Capacidad de la máquina (t/h).

(L) = Longitud del cilindro (m).

(e) = Separación entre cilindros (mm) (reglaje).

(v) = Velocidad periférica de los cilindros (m/s).

(ρ_a) = Densidad aparente (t/m³).

La capacidad real a una sola capa es de $0.25 \cdot T$ y a boca llena es $\geq T$.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

3. Granulometría y % paso por la malla de reglaje.

La granulometría del producto obtenido la podemos determinar por la curva siguiente:

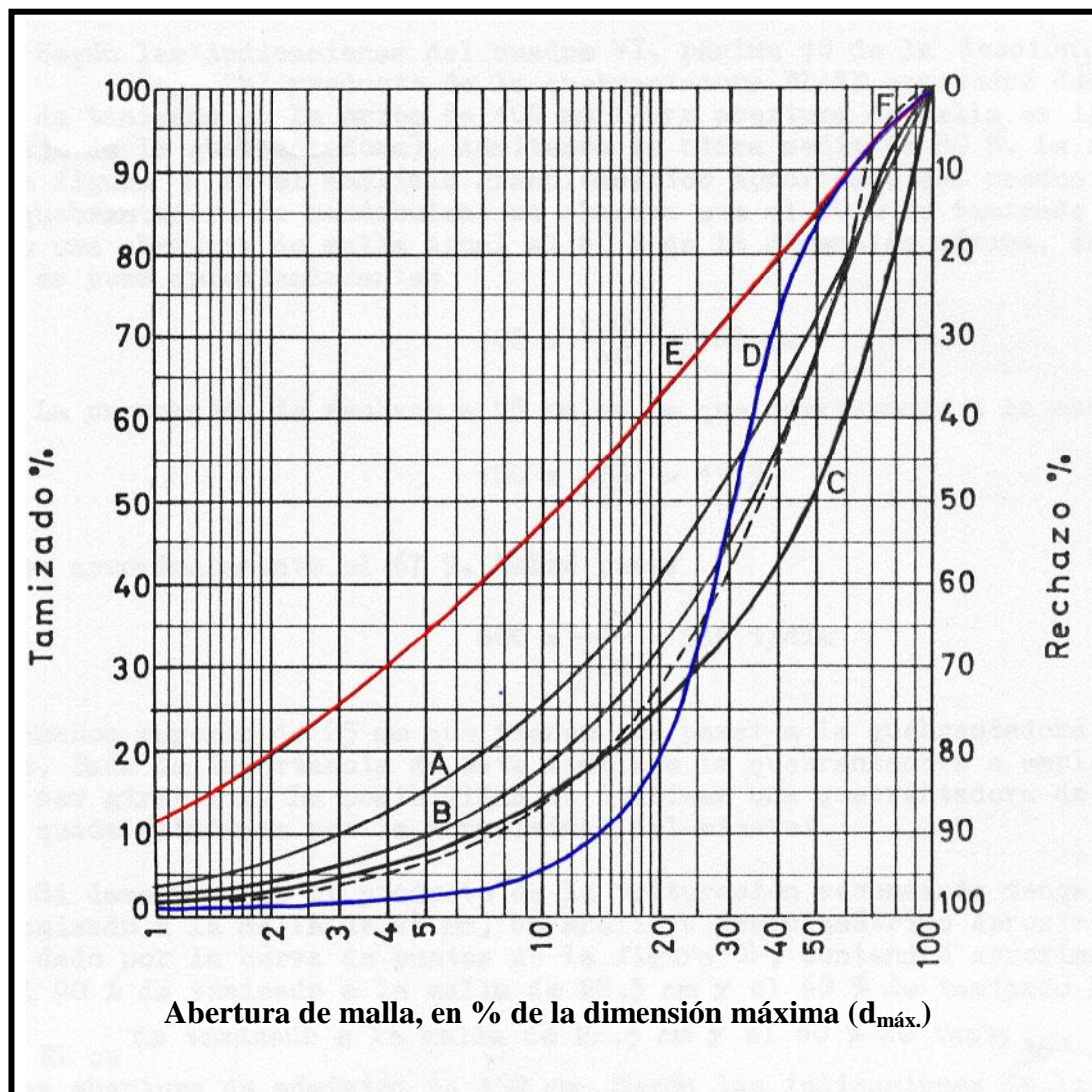


Fig. 3.53: Curvas granulométricas de cilindros lisos (ETSIMV, 1996).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

La curva representa en el eje de abscisas la abertura de malla cuadrada en % de la dimensión máxima y en ordenadas los % de paso o rechazo del material para dicha malla.

Las curvas C, D, y E representa diferentes casos:

Curva C: C.A. Alimentado a una sola capa.

Curva D: C.C., c/criba. Alimentado a una sola capa.

Curva E: C.C., c/criba. Alimentado a boca llena.

Normalmente el paso del producto obtenido por la malla igual al reglaje es de un **85 %**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

4. Potencia de los trituradores de cilindros lisos.

La **potencia absorbida**, según Bond, viene dada por:

$$P_a = 10 \cdot w_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q \quad (3.15)$$

Donde:

P_a = Potencia absorbida (kW).

Q = Capacidad de la trituradora (t/h).

Trituradores de Cilindros lisos

La **potencia del motor** o **potencia útil**: $P_m = 1.3 \cdot P_a$

Con el dato de la potencia útil se entrará en las tablas de los fabricantes, para comprobar que el motor del modelo seleccionado posee como **mínimo** este valor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradores de Cilindros Único y Mandíbula:

Este tipo de máquinas están constituidas básicamente por un cilindro dentado y una mandíbula estacionaria que es soportada por el bastidor que forma el chasis del equipo (ver figura 3.54)

Al girar el cilindro dentado, éste engancha al mineral y lo tritura contra la mandíbula, pasando los fragmentos cuando alcanzan la dimensión de separación entre cilindro dentado y mandíbula.

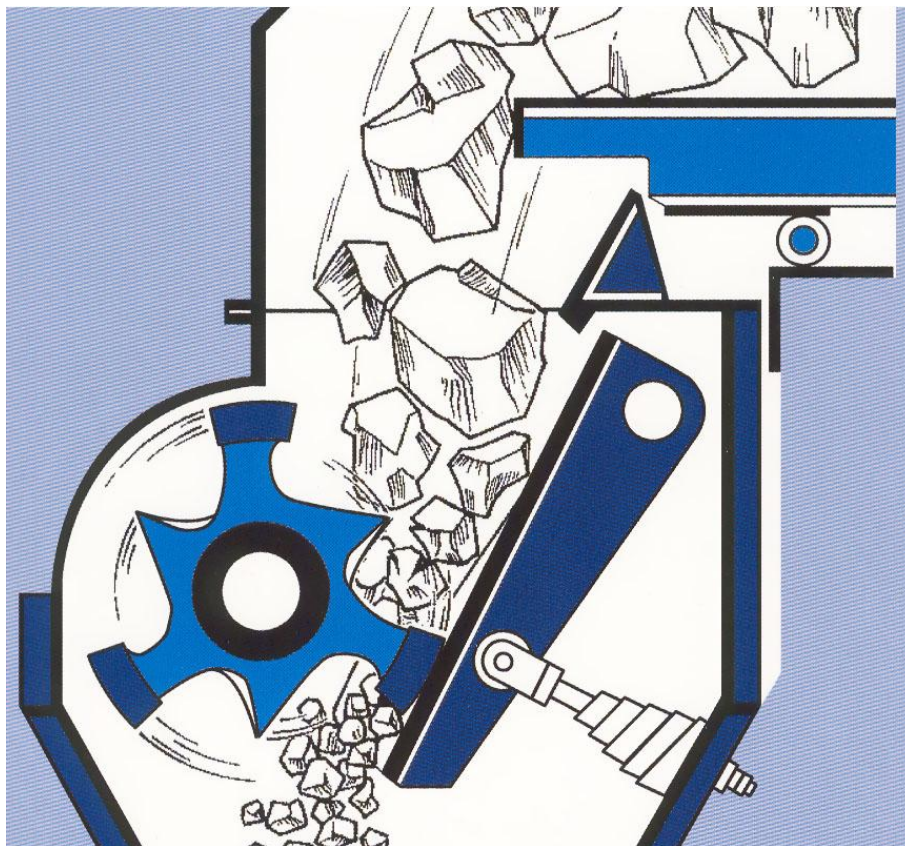


Fig. 3.54: Corte esquemático de un triturador de cilindro y Mandíbula (Cortesía de Aubema).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Estos equipos están contruidos con un bastidor de acero de fundición que incorpora los cojinetes de los ejes y contra-ejes y el sistema de suspensión de la mandíbula.

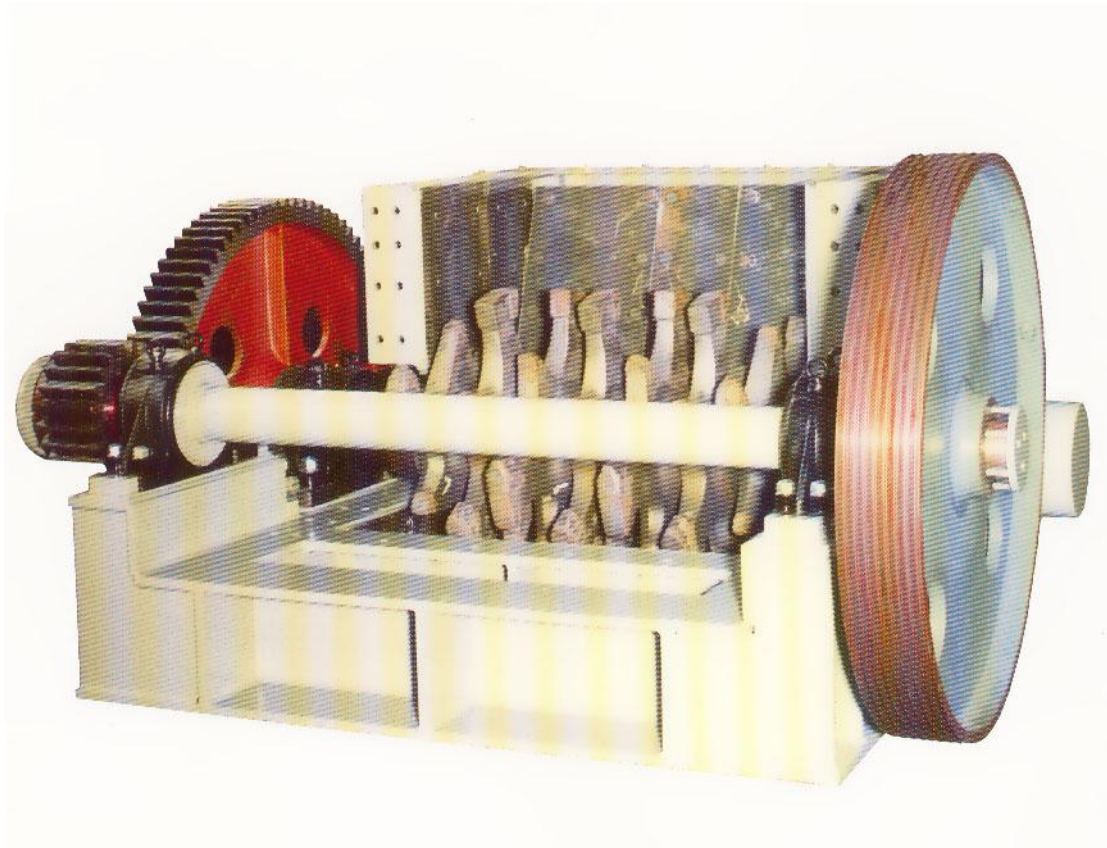


Fig. 3.55: Triturador de cilindro dentado y mandíbula de 53 ton. y 1600 mm \varnothing del cilindro (cortesía de Aubema).

El cilindro es de acero y está protegido por la camisa porta-dientes.

La mandíbula estará protegida con placas anti-desgaste de acero al manganeso y acanaladas. La mandíbula es regulable para ajustar su posición con respecto al cilindro y dispone de un sistema de seguridad antiintritables.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

En equipos de tamaño grande la camisa que envuelve al cilindro dispone de alveolos para fijar los dientes de forma individual.

En equipos de tamaño pequeño, los dientes están fundidos con la camisa, construida de acero al manganeso.

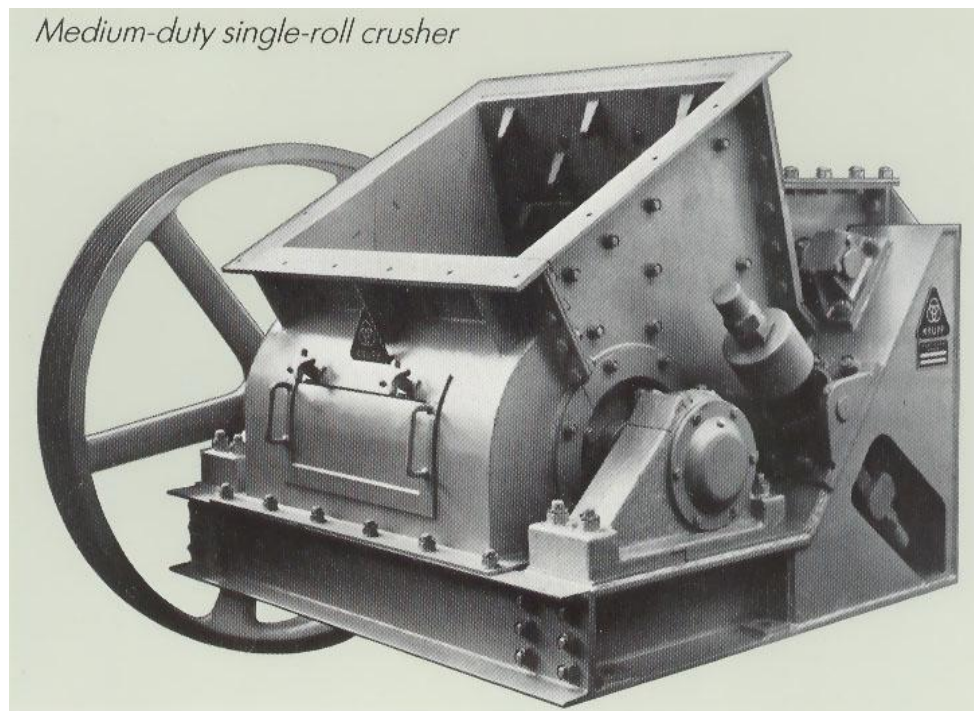


Fig. 3.56: Triturador de cilindro dentado y mandíbula para trabajos medios \varnothing 1500 mm (cortesía de Krupp).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

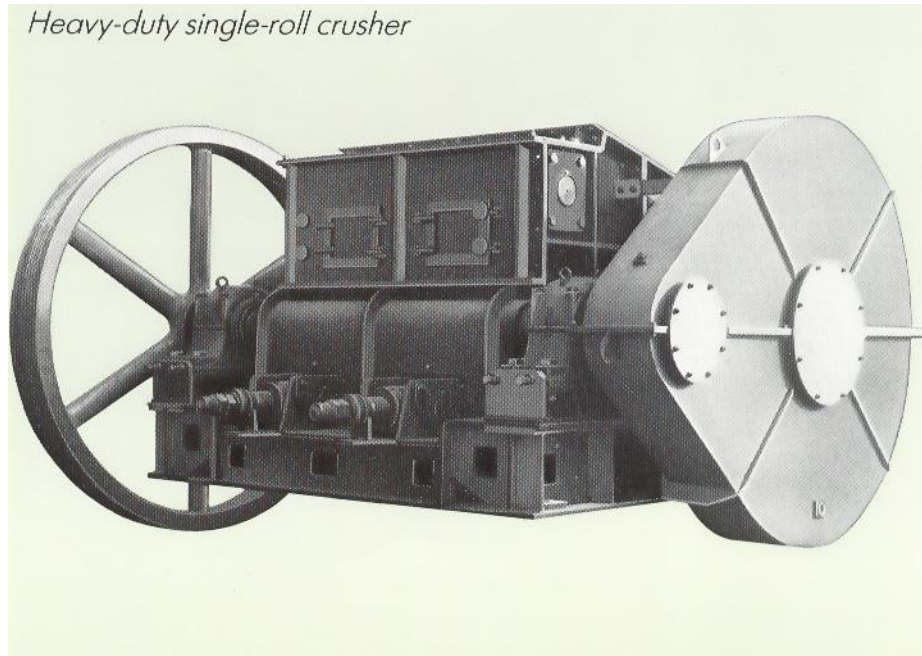


Fig. 3.57: Triturador de cilindro y placa para trabajos duros (cortesía de Krupp).

La razón de reducción de estas máquinas es de (4-6):1.

En trituración primaria, admiten tamaños de bloque próximos a los **1500 mm** y proporcionan tamaños comprendidos entre los **80-300 mm** (según equipo).

Son equipos aptos para materiales friables no muy duros, materiales blandos, húmedos y pegajosos no abrasivos: carbón, fosfatos, caliza, sales, esquistos y material de escombros.

Suelen emplearse en trituración primaria de materiales blandos o de dureza media.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

La selección de estos equipos, caracterizados por el diámetro del cilindro dentado ($\varnothing_{\text{cilindro}}$), es similar a los estudiados anteriormente y se lleva a cabo según el tamaño máximo de grano a tratar ($D_{\text{máx.}}$):

- Materiales de dureza media:

$$2 \cdot D_{\text{máx.}} < \varnothing_{\text{cilindro}}$$

- Materiales blandos:

$$1.5 \cdot D_{\text{máx.}} < \varnothing_{\text{cilindro}}$$

Los fabricantes suministran tablas y gráficos para la elección de la máquina que más adecuadamente se ajuste a nuestro proyecto.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradoras de un cilindro dentado:

Dentro de los trituradores de cilindros mencionaremos por último a un grupo de trituradores de un solo cilindro dentado y que van a trabajar como precalibrado de los materiales todo-uno, reduciéndolos a un tamaño adecuado para su manejo en una etapa posterior (fig. 3.58)

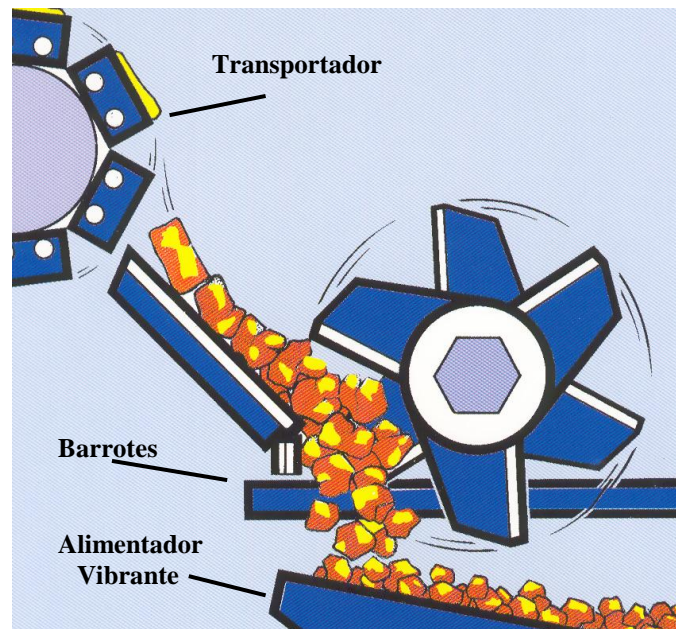


Fig. 3.58: Esquema de un triturador de cilindro único (Cortesía de Aubema),

Algunos equipos son alimentados por transportador de racletas, el cual evacuará el material una vez fragmentado de la trituradora (figs. 3.59 y 3.60).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.



Fig. 3.59: Triturador de cilindro y transportador de racletas.
(Cortesía de Mackina-Westfalia)



Fig. 3.60: Triturador de cilindro y transportador de racletas triturando material a pie de obra (Cortesía de Mackina-Westfalia).

En otros equipos el material se alimenta por medio de un transportador de placas, depositando el material en triturador que lo fragmentará hasta un tamaño que le permita pasar a través de unos barrotes que proporcionarán el tamaño de salida.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.



Fig. 3.61: Triturador de cilindro dentado (cortesía de Aubema)

Son máquinas que aceptan tamaños de bloque de **1750x1200 mm**, dando un producto final entre **150 mm** y **250 mm**.

El bajo perfil de estos equipos lo hace idóneo para su instalación en túneles o minería subterránea.

Su campo de aplicación es la minería del carbón, de sal, tratamiento de materiales de demolición.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Cálculo teórico de la velocidad de aplastamiento de un triturador de cilindros y la $D_{m\acute{a}x.}$ de partícula admisible.

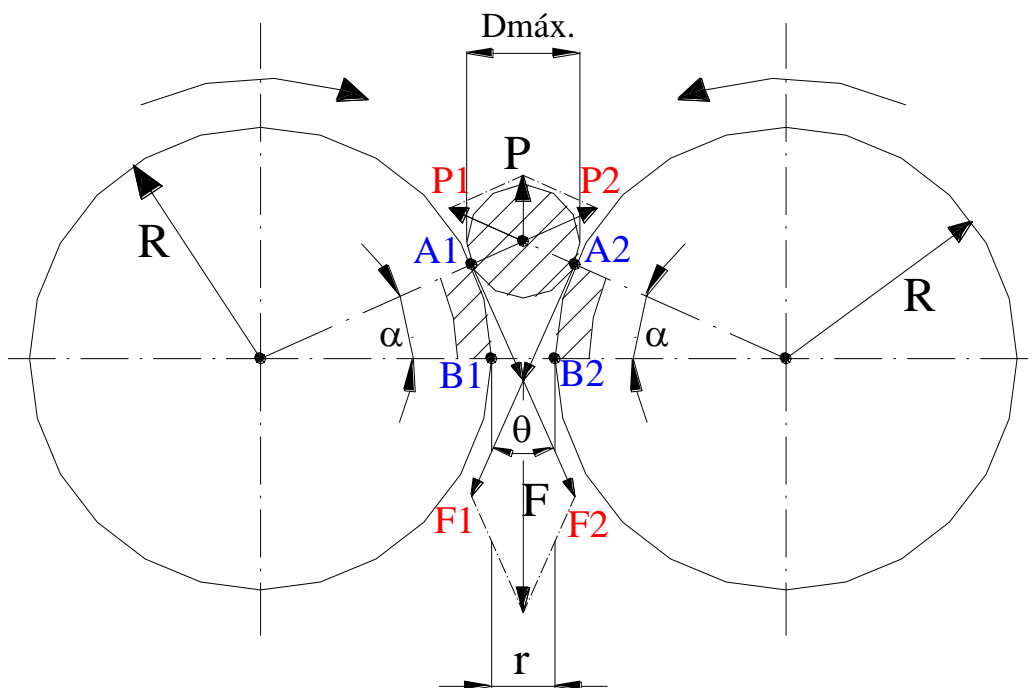


Fig. 3.62: Esquema de un triturador de cilindros lisos.

Se han realizado estudios teóricos que nos proporcionan el valor y la relación existente entre las diferentes variables que interviene en el dimensionado de un triturador de cilindros lisos o finamente acanalados.

Sin embargo debido a su dificultad, para el caso de cilindros dentados únicamente se pueden obtener dichos resultados como resultado de pruebas y ensayos experimentales.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

En la **figura 3.63** se representa un fragmento de mineral bajo la acción de dos cilindros lisos que se mueven en sentido inverso a la misma velocidad.

Aparecen unas fuerzas de fricción **F1** y **F2** en los puntos tangenciales **A1** y **A2** respectivamente, que dan lugar a una fuerza total **F** que tiende a introducir el fragmento entre los cilindros.

Por consiguiente se va a someter al fragmento a unos esfuerzos de compresión **P1** y **P2** dirigidos radialmente; cuya componente total **P** dirigida hacia arriba tiene a oponerse a la fuerza **F**.

Para que el mineral sea atrapado por los cilindros y no sea rechazado, debe cumplirse que α (ángulo formado por la horizontal y el radio en el punto de contacto A1) tome un valor tal que el **ángulo de alimentación** o **toma**, $\theta = 2 \cdot \alpha$, sea inferior al **ángulo de fricción** del mineral con la pared del cilindro liso.

Se puede tomar como valor base para los cálculos un $\theta = 26^\circ$.

En estas condiciones el **tamaño máximo de partícula** ($D_{\text{máx.}}$) será:

$$D_{\text{máx}} = 2 \cdot R \cdot (1 - \cos \alpha) + r \quad (3.16)$$

Donde: r (reglaje), R (radio del cilindro).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Velocidad de aplastamiento (V):

Es la velocidad con la que la materia a fragmentar pasa de la dimensión D a la dimensión r. Es decir, el tiempo que tarda un punto de la periferia de los cilindros en recorrer el arco que va desde A1 hasta B1 (ver fig. 3.62).

Siendo V:

$$V = \frac{2 \cdot R \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot 60 \cdot 360}{\alpha \cdot n} \quad (3.17)$$

Donde:

n = r.p.m.

α = grados.

Se registran velocidades de aplastamiento que pueden llegar a 0.3-1 m/s. Superiores a las realizadas por las trituradoras de mandíbulas y giratorias pero muy por debajo de las trituradoras de percusión que veremos más adelante.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

EQUIPOS QUE TRABAJAN A PERCUSIÓN O IMPACTO.

(De acción continua)

3.4. Trituradores de Percusión e Impacto.

En este grupo de máquinas la fragmentación se produce por un choque brusco entre el material a triturar y una herramienta o útil triturador, aprovechando el efecto de la energía cinética de un cuerpo puesto en movimiento:

$$E_{cinética} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Dicha energía se va a transformar durante el choque en energía de deformación o rotura. Afectando de diferente manera a los minerales y a las piezas de desgaste.

Para triturar grandes bloques de mineral, la velocidad debe ser relativamente baja, por otro lado para la trituración de pequeños fragmentos la velocidad debe ser alta.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

La fragmentación puede ser de dos tipos:

Indirecta: Cuando el material es lanzado a altas velocidades por medio de útiles contra los yunques o placas de impacto (Molinos de impactos).

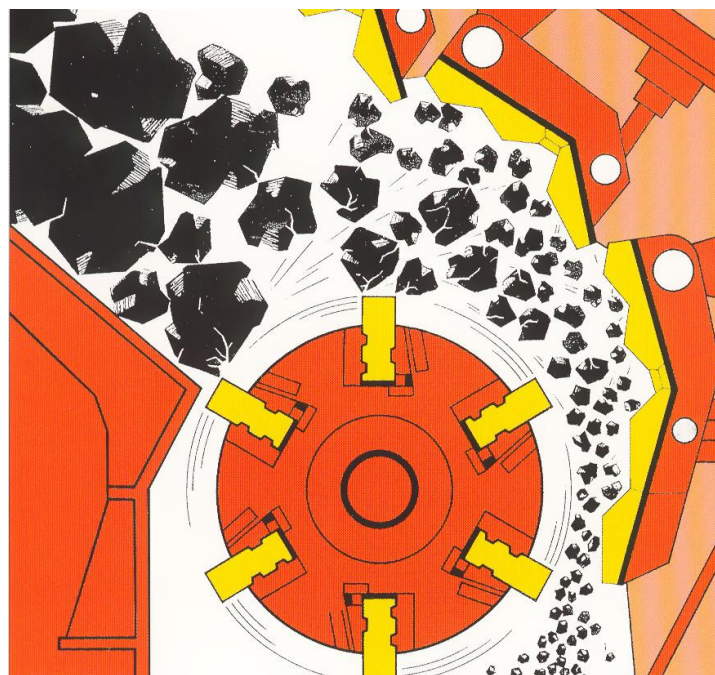


Fig. 3.63: Equipo de fragmentación indirecta
(Cortesía Aubema – Sandvik).

Directa: El material que es alimentado a bajas velocidades recibe el impacto de útiles que se mueven a elevadas velocidades (15-150 m/s) (Molinos de martillos) (Ver fig. 3.64).

En ambos tipos de máquinas se da tanto la fragmentación directa como la indirecta, pero dependiendo del tipo de máquina predominará un tipo de fragmentación sobre el otro.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

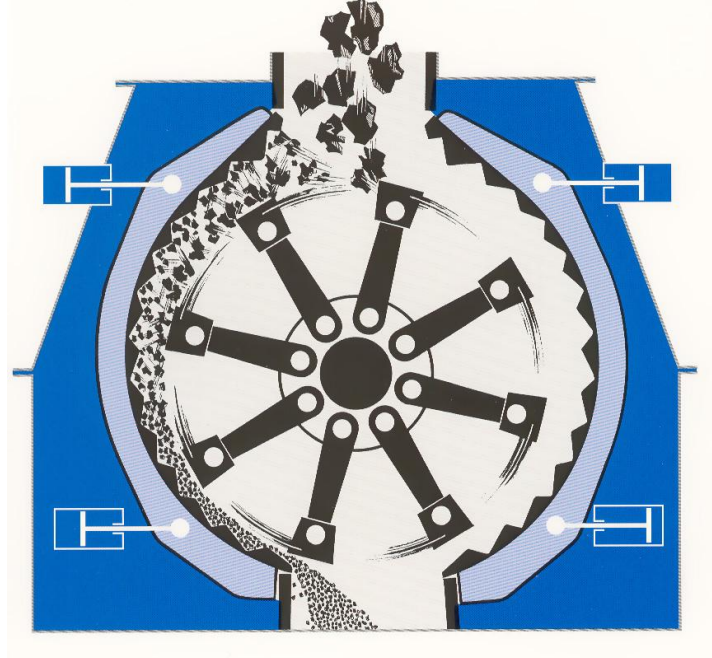


Fig. 3.64: Equipo de fragmentación directa
(Cortesía Aubema – Sandvik).

El campo de aplicación de este grupo de máquinas va desde la trituración primaria de grandes fragmentos de todo-uno hasta la pulverización.

Están constituidos por rotores que contienen útiles de choque fijos o móviles que giran a grandes velocidades alrededor de un eje horizontal o vertical, en el interior de una cámara blindada cuya parte inferior puede estar cerrada con una parrilla o no.

Las herramientas de choque pueden fijarse de forma rígida sobre el rotor o bien pueden estar unidos al rotor de forma articulada.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradores de Impacto de Eje Horizontal:

Son máquinas (Fig. 3.65) constituidas básicamente por un **rotor (E)** de acero fundido o electrosoldado de forma cilíndrica, sobre el cual van fijadas las **barras de impacto (1)** que golpearán el material fragmentándolo y lanzándolo.

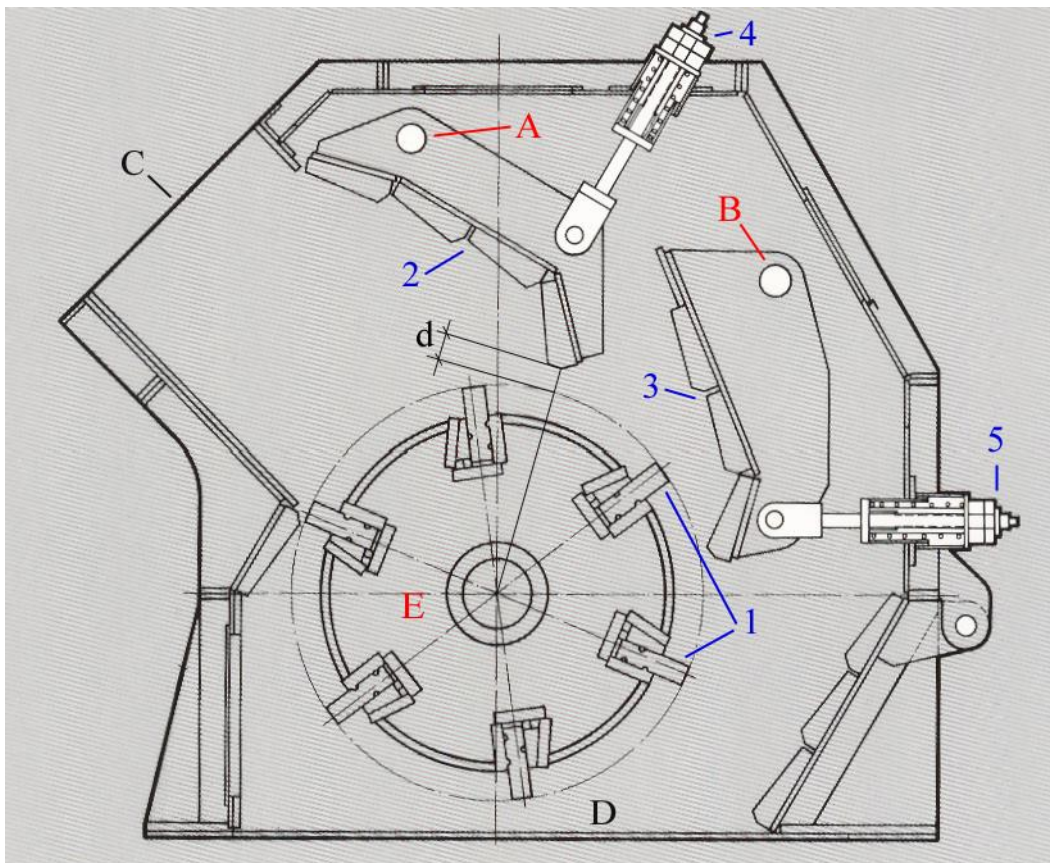


Fig. 3.65: Corte esquemático de un molino de impacto (Cortesía Aubema – Sandvik).

Los fragmentos de mineral lanzados por las barras de golpeo contra las **placas de impactos (2)** se volverán a fragmentar para a continuación volver a ser lanzados por las barras del rotor contra las **placas de impactos (3)**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

El reglaje o regulación del tamaño de salida se realiza a través de los tornillos (4) y (5) o de forma hidráulica. Siendo el reglaje la distancia mínima entre el extremo del percutor y la superficie externa de la placa de impactos (d).

Casi la totalidad del material triturado saldrá con una dimensión inferior a **d**.

Las placas (2) y (3), pueden girar alrededor de los ejes (6) y (7), pero sólo se podrán levantar ante una fuerza superior a la estimada para un esfuerzo normal de fragmentación, como es el caso de la entrada de fragmentos metálicos o intriturbables, evitando la rotura de piezas importantes.

La alimentación se produce por la abertura de entrada (C) y la salida del producto por (D).

Las barras de impactos están fabricadas de acero al manganeso cuando el material es poco abrasivo y de acero al manganeso-cromo cuando el material es algo abrasivo. Son intercambiables (ver Fig. 3.66).

El rotor gira en el interior de una carcasa o bastidor fabricado por chapas laminadas de gran espesor y reforzada por la parte exterior a través de nervios.

El interior va forrado de chapas de acero al manganeso atornilladas para su fácil sustitución.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

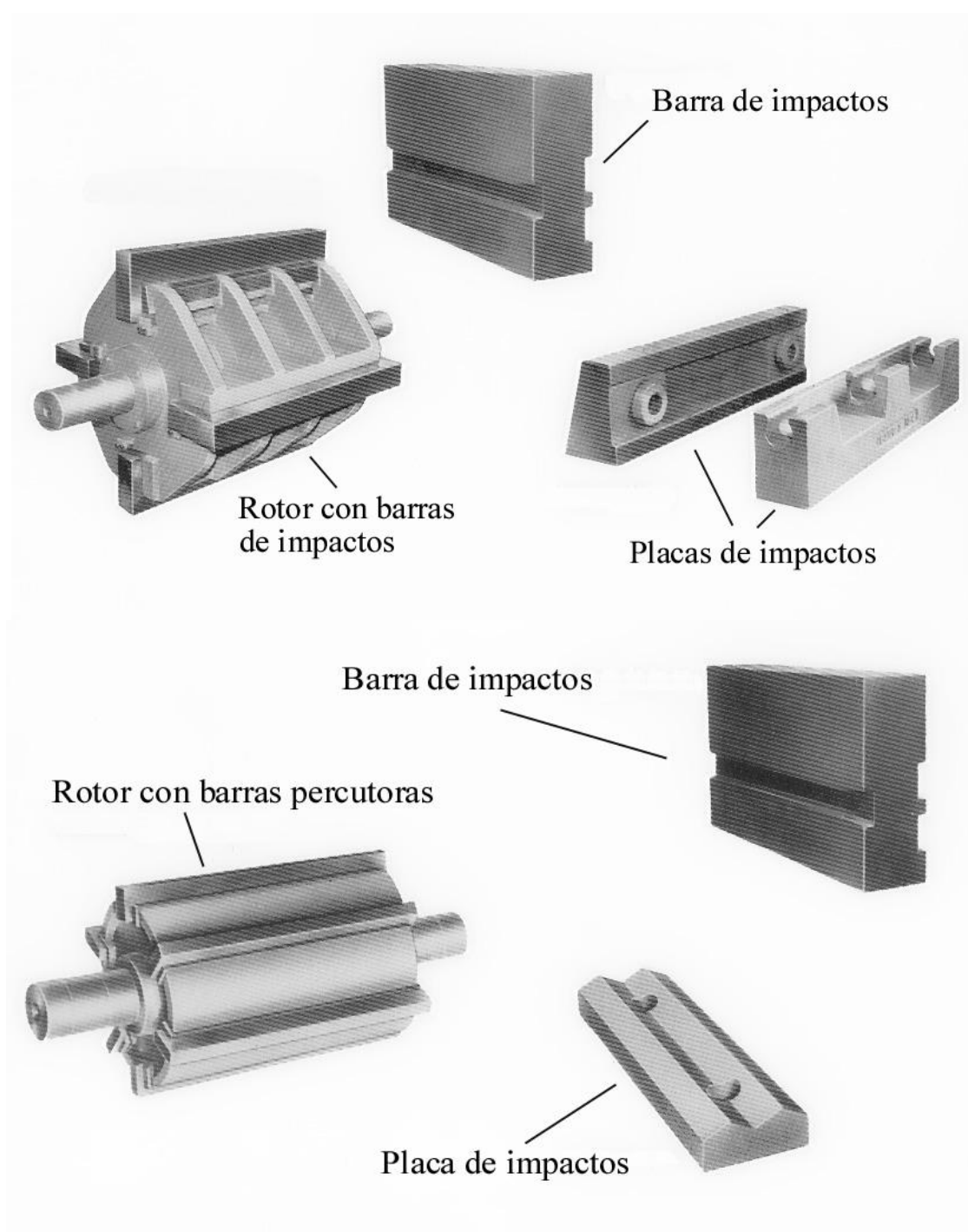


Fig. 3.66: Elementos percutores de un triturador de impacto (Cortesía Aubema - Sandvik).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

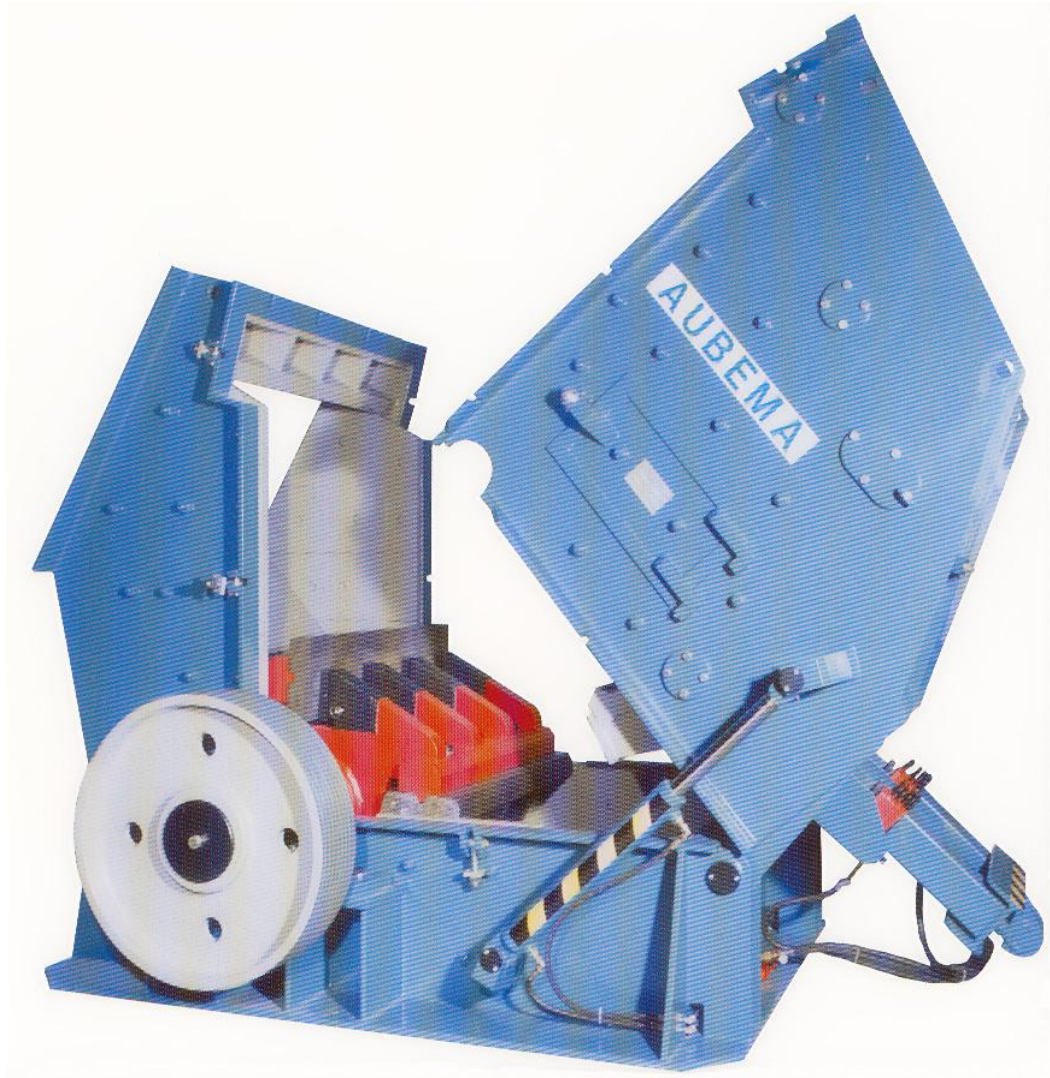


Fig. 3.67: Triturador de impactos abierto hidráulicamente (cortesía de Aubema).

Debido a la gran reducción de tamaño que se produce, se requiere que el espacio dentro de la máquina sea amplio para permitir una amplia expansión del material al fragmentarse y que sus trayectorias hacia las placas no sean interferidas por choques con otros granos.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Estos trituradores pueden trabajar con **descarga libre** por gravedad o **descarga cerrada** por medio de rejilla para el control del tamaño de salida, aunque lo normal cuando se quiere tener un control minucioso sobre los sobretamaños es emplear cribas externas y trabajar en circuito cerrado.

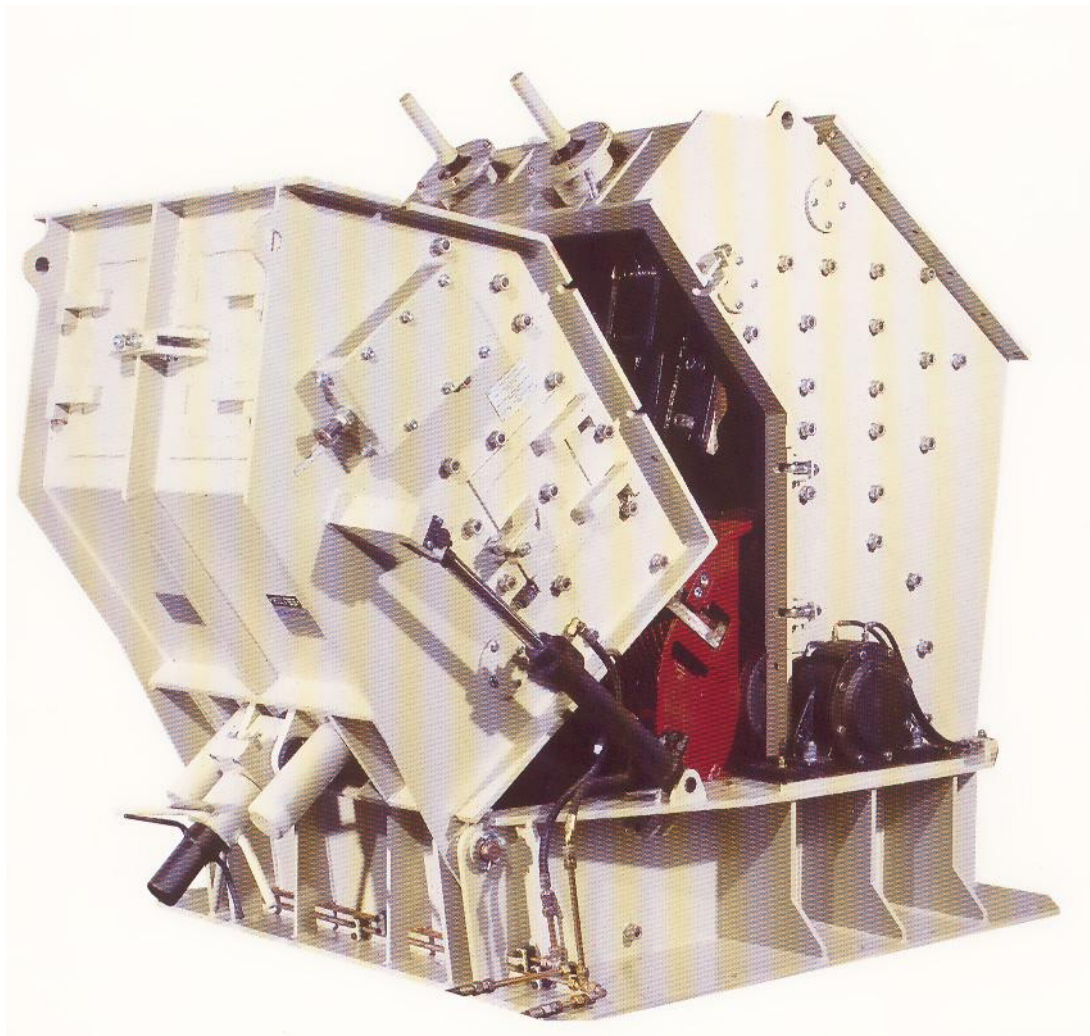


Fig. 3.68: Triturador de Impactos de 2000 mm de \varnothing y 83 ton.
(Cortesía de Aubema).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

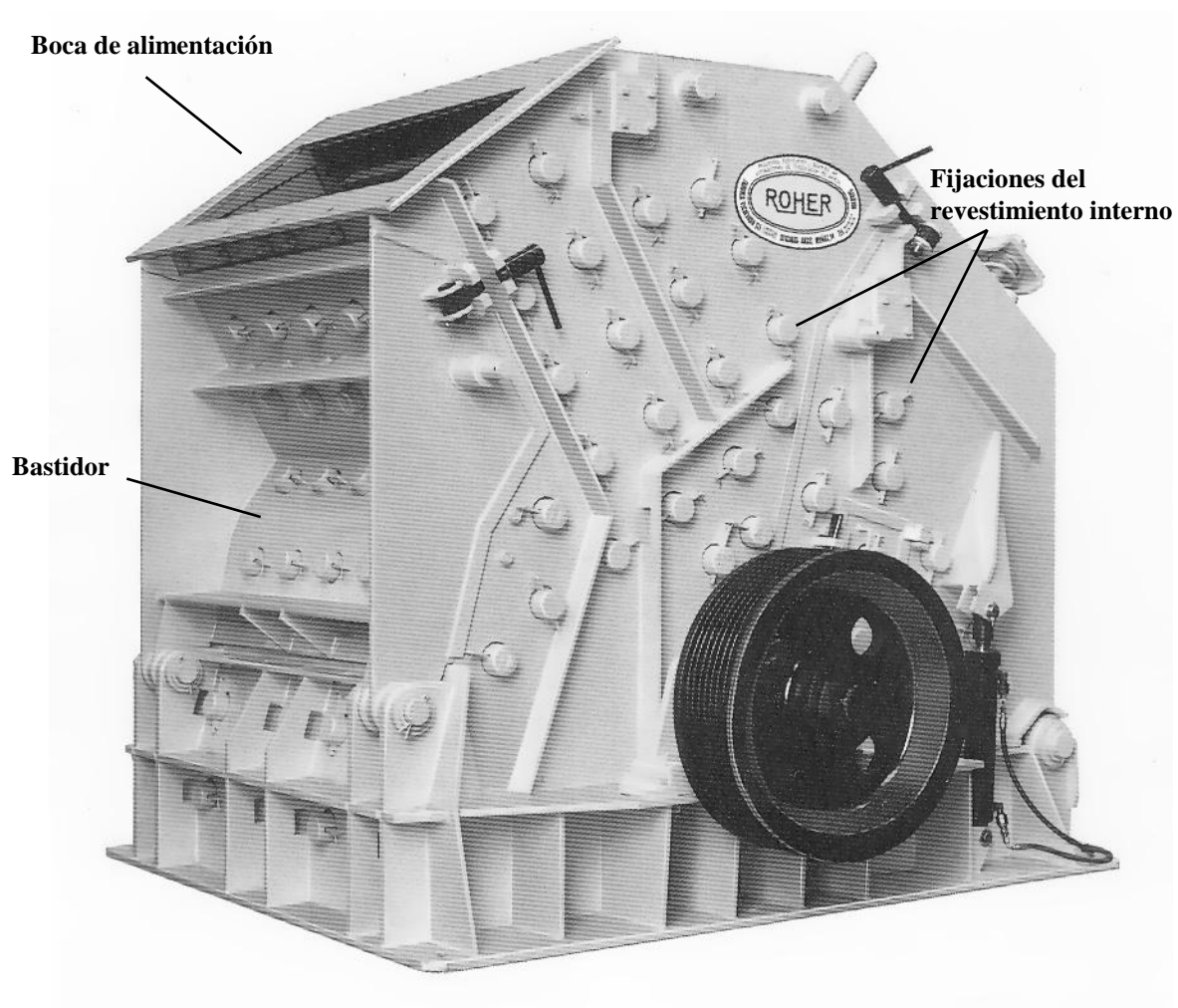


Fig. 3.69: Molino de impacto para productos abrasivos (Cortesía de Roher).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradores de Impacto de Eje Vertical:

En estos trituradores el rotor porta-percutores gira en un plano horizontal a través de un eje vertical.

Existen dos tipos de máquinas en función del principio de fragmentación del material:

Trituración roca-metal

El principio de fragmentación del mineral es igual que en los equipos vistos anteriormente.

El material a triturar se introduce por la parte superior del aparato (ver figura 3.70) y cae a un plato distribuidor situado en el centro del rotor de donde es lanzado violentamente por los lanzadores-percutores contra las caras de los yunques o placas de impacto sufriendo una fragmentación previa.

Después del impacto con las placas, los fragmentos rebotarán para volver a colisionar con los fragmentos lanzados o ser golpeados por los percutores nuevamente.

Después de varios impactos el material caerá por gravedad por la parte inferior de evacuación.

Se denomina de trituración roca-metal, porque el material está en contacto directo con los útiles de impacto y golpeo durante la operación de fragmentación.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Debido al intenso roce entre el material y los elementos de estos equipos, el desgaste que se produce en dichos elementos es mayor que en los equipos anteriores bajo las mismas condiciones.

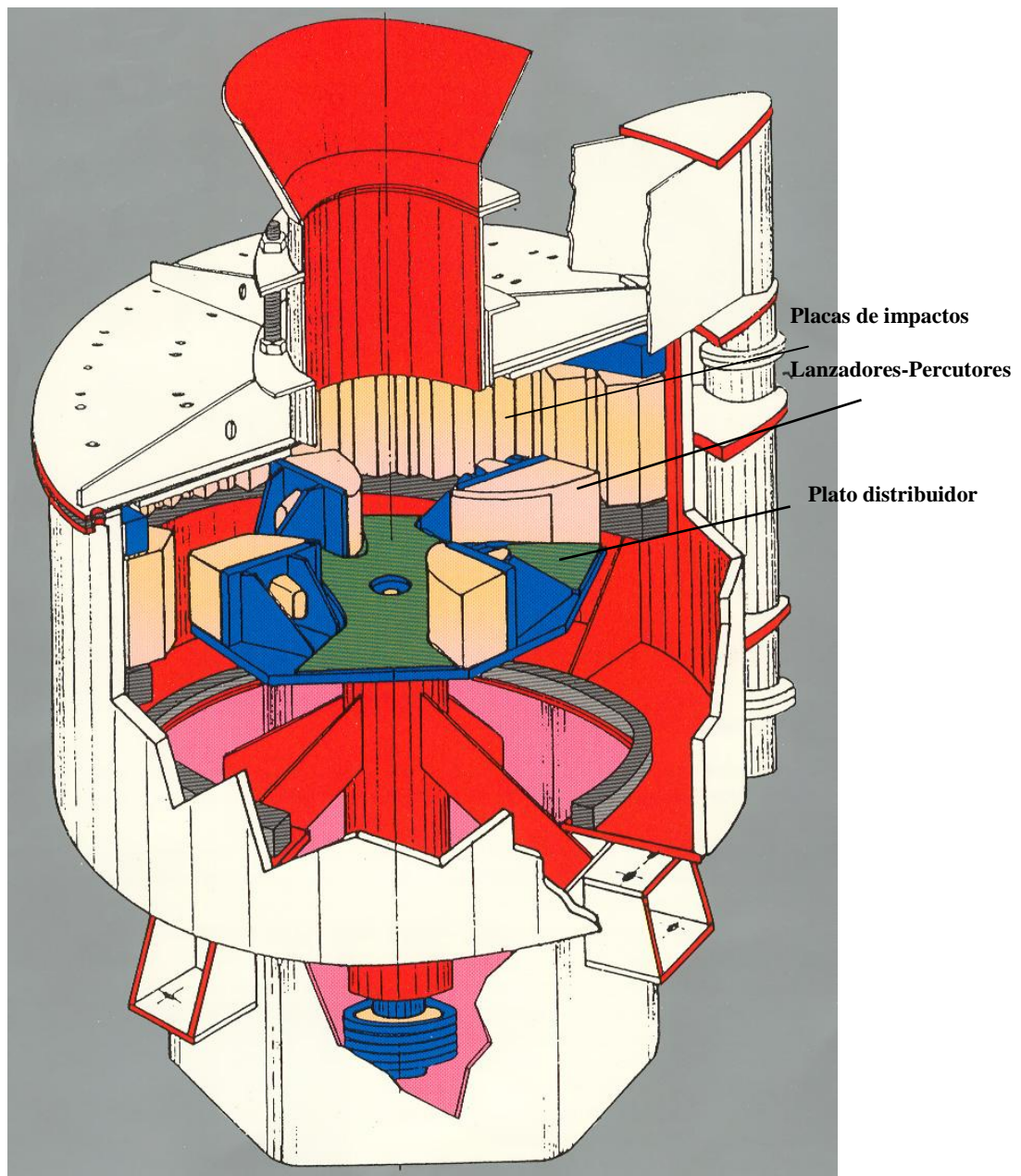


Fig. 3.70: Molino de impacto de eje vertical Rotomill
(Cortesía de Dragon Babbitless).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituración roca-roca

Este tipo de máquinas surge para dar solución a los inconvenientes del excesivo desgastes que aparecen con los equipos de trituración roca-metal.

La fragmentación se va a producir como consecuencia de los choques entre los fragmentos de material, protegiendo a las partes metálicas del equipo con lechos o depósitos de material gracias a la disposición de unos resaltes realizados para tal efecto (ver Fig. 3.71).

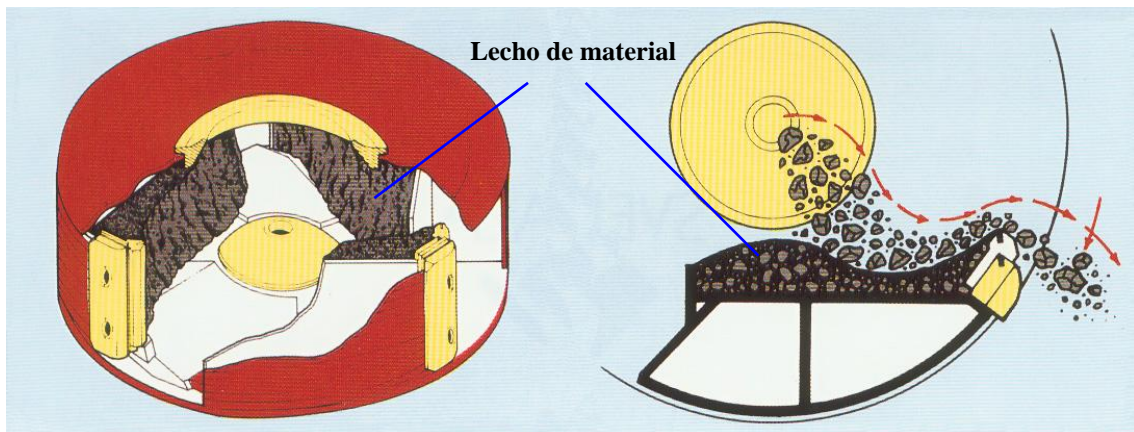


Fig. 3.71: Funcionamiento de los percutores-lanzadores de un rotor en un equipo de trituración roca-roca (Cortesía de Svedala).

Debido a un cierto movimiento del material estático y de la poca masa relativa de los fragmentos, las velocidades que deben alcanzar los granos deben ser elevadas (60-70 m/s). Lo que conlleva un aumento en el consumo de energía.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Han aparecido nuevos diseños para intentar disminuir ese aumento de consumo energético y uno de ellos es el presentado por el Barmac Duopactor de Svedala (Fig. 3.72).

La alimentación se divide en dos corrientes, una que va al plato del rotor y es proyectada y otra corriente que cae por gravedad entre el rotor y el estátor y que chocará con los granos lanzados por el plato, fragmentándose entre los mismos y contra la masa de roca situada en el estátor.

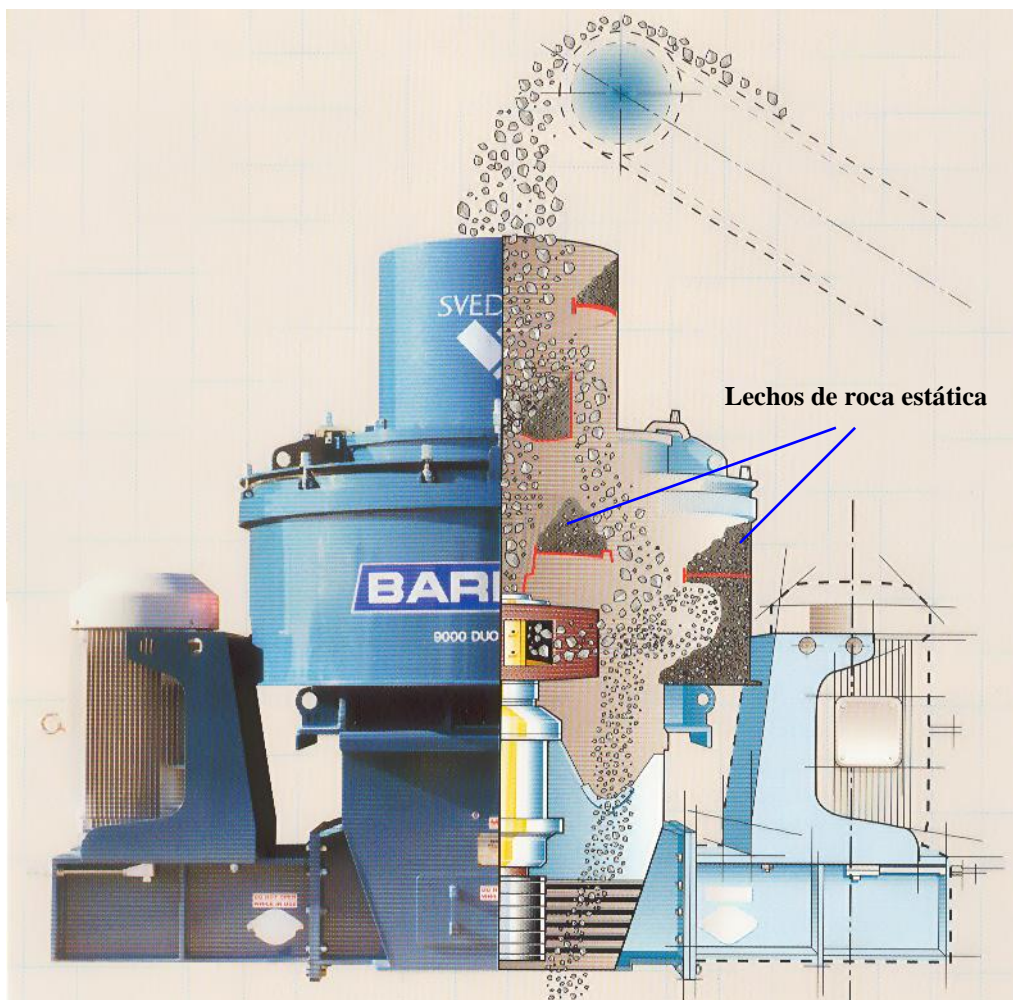


Fig. 3.72: Triturador de impacto vertical roca-roca Barmac Duopactor (cortesía de Svedala).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Con esta forma de trabajar se aumenta la capacidad de producción sin aumentar la potencia y se logra reducir la cantidad de finos producidos.

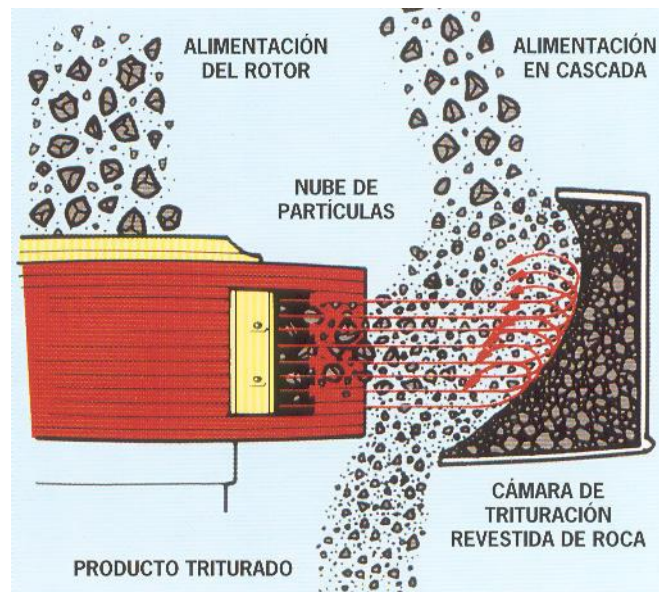


Fig. 3.73: Principio de funcionamiento de un triturador de impacto vertical roca-roca (Cortesía de Svedala).

Actualmente están apareciendo nuevos desarrollos en los trituradores de impacto de eje vertical como es el caso de la sociedad holandesa VanderZanden con su nuevo concepto de triturador denominado “SynchroCrusher” en el que los granos antes de impactar contra el estátor son golpeados más de una vez por el rotor gracias a un nuevo diseño de los percutores-lanzadores del rotor (ver Fig. 3.74).

Algunos autores denominan a estos nuevos modelos de equipos con el nombre Trituradores de eje vertical de doble impacto.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

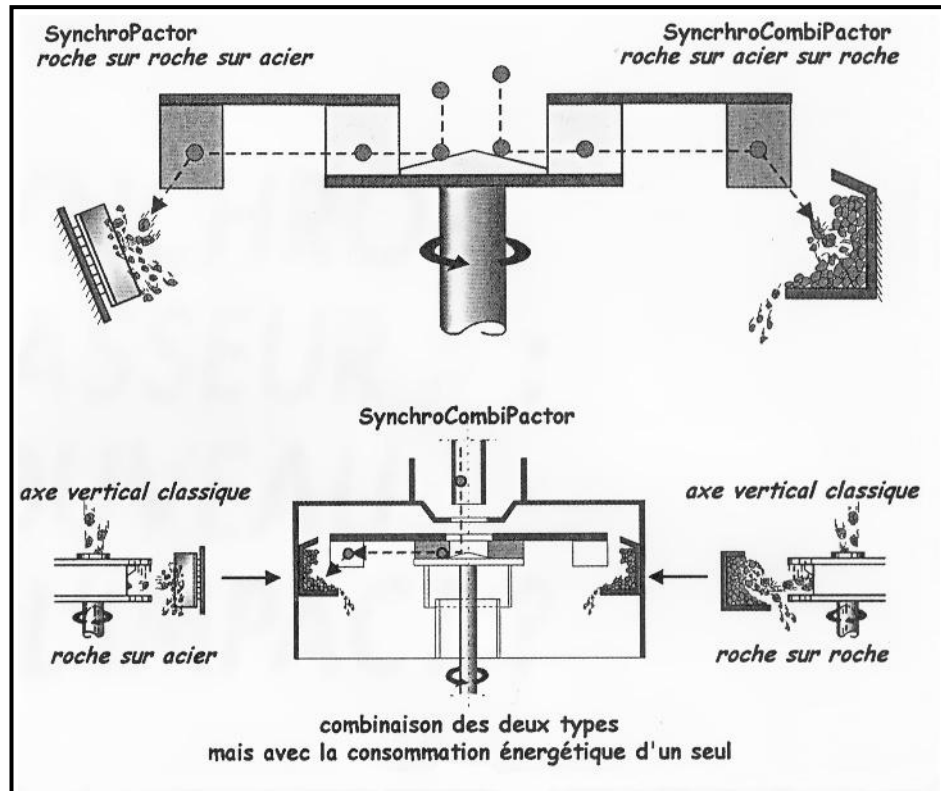


Fig. 3.74: Principio de funcionamiento de un SynchronoFactor (Sociedad VanderZanden).

Este grupo de máquinas que acabamos de describir no son adecuadas para trituración primaria. Se emplean en etapas terciarias e incluso en etapas cuaternarias. Operan tanto en circuito abierto como en circuito cerrado.

Son equipos utilizados como correctores de forma de los materiales procedentes de los trituradores de cono, ya que dan un producto con mayor cubicidad.

El tamaño de alimentación varía según los equipos entre **20-170 mm**.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Trituradores de Martillos:

Estas máquinas utilizan el mismo principio que los trituradores de impacto. Emplean un rotor de eje horizontal que gira a gran velocidad en el interior de una cámara formada por el bastidor blindado.

El rotor esta constituido por una serie de discos robustos a los cuales están unidos los martillos de forma que puedan girar sobre el eje de dicha unión (martillos articulados).

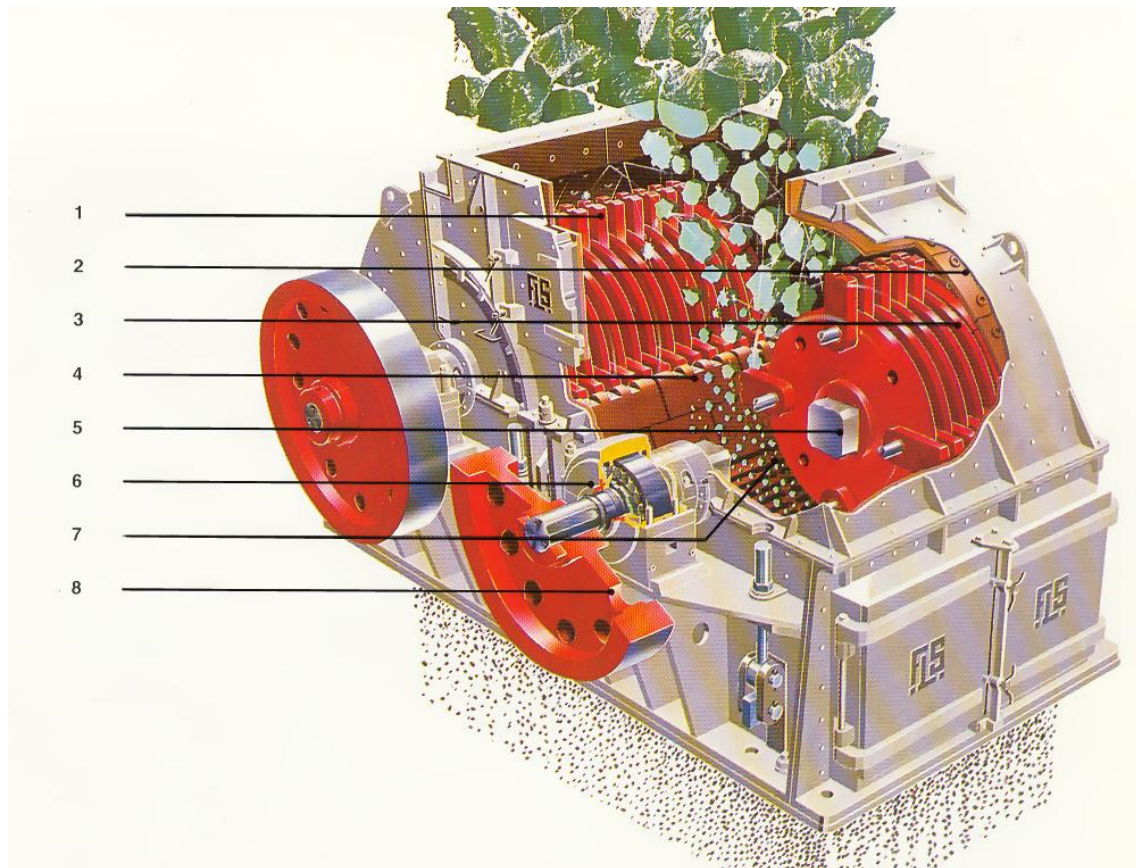


Fig. 3.75: Triturador de martillos de doble rotor (cortesía de F.L.Smidth).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

En la **figura 3.75** se identifican los siguiente elementos:

1. Martillo.
2. Placas de desgaste (forro interior).
3. Disco porta-martillos.
4. Yunque.
5. Eje del rotor.
6. Parrilla para la salida de los productos.
7. Volante de transmisión.

Cuando el **rotor** está **en reposo**, los martillos descansan en el mismo y cuando el **rotor gira** a elevada velocidad, los martillos se colocan en posición radial debido a la fuerza centrífuga.

Las velocidades que toma el rotor van de **20 m/s** para trituración normal hasta **60 m/s** para pulverización.

En la salida inferior de la cámara de trituración se dispondrá de una parrilla para que deje paso sólo a aquellos granos que cumplen la dimensión de paso.

Ante la **presencia de intriturables**, debido a la articulación de los martillos y al no estar rígidos al rotor, estos retrocederán al golpear a dichos elementos resistentes, evitando así su rotura.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

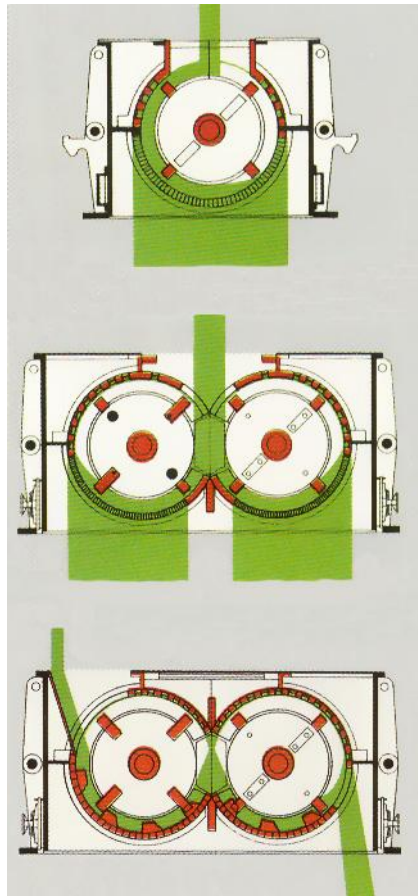


Fig. 3.76: Diferentes formas de manejo del mineral por un equipo de martillos (cortesía de Krupp).

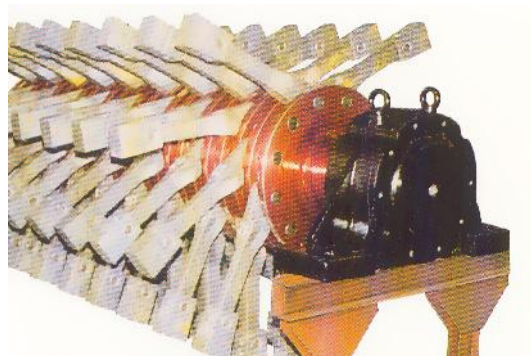


Fig. 3.77: Rotor con martillos articulados de 1600 \varnothing x 2800 mm ancho (cortesía de Aubema)

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

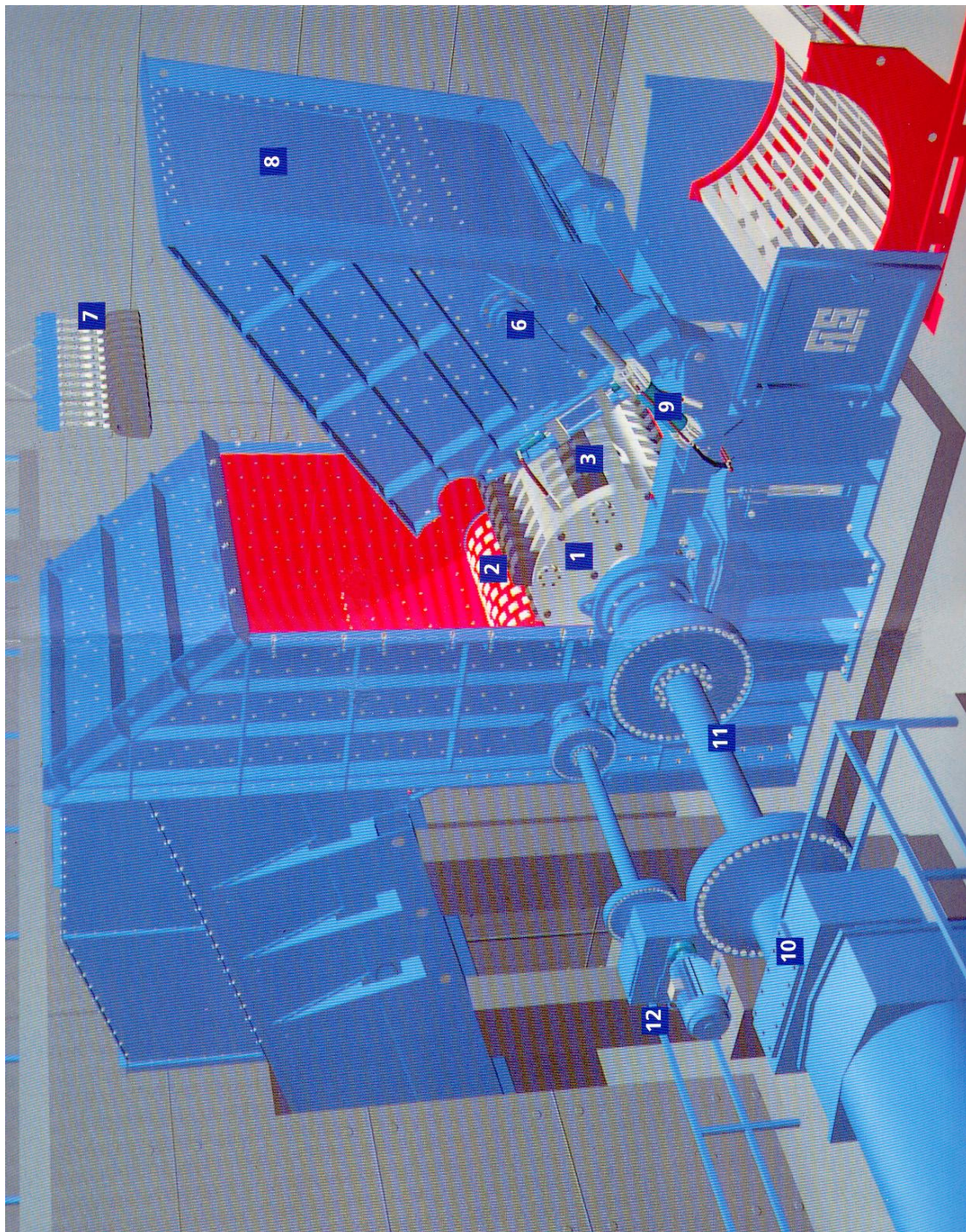


Fig. 3.78: Triturador de Martillos EV (cortesía de F.L. Smidth)

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

De la **figura 3.78** podemos distinguir lo siguiente:

1. Rotor con martillos.
2. Alimentador de rodillo.
3. Martillos.
4. Parrilla para la salida del producto.
5. Raíles para la extracción de la parrilla.
6. Pieza de ajuste.
7. Equipo para la reposición de martillos.
8. Carcasa o bastidor blindado.
9. Mecanismo hidráulico para la apertura del equipo.
10. Motor principal para el giro del rotor.
11. Eje de transmisión.
12. Motor secundario para el giro del cilindro.

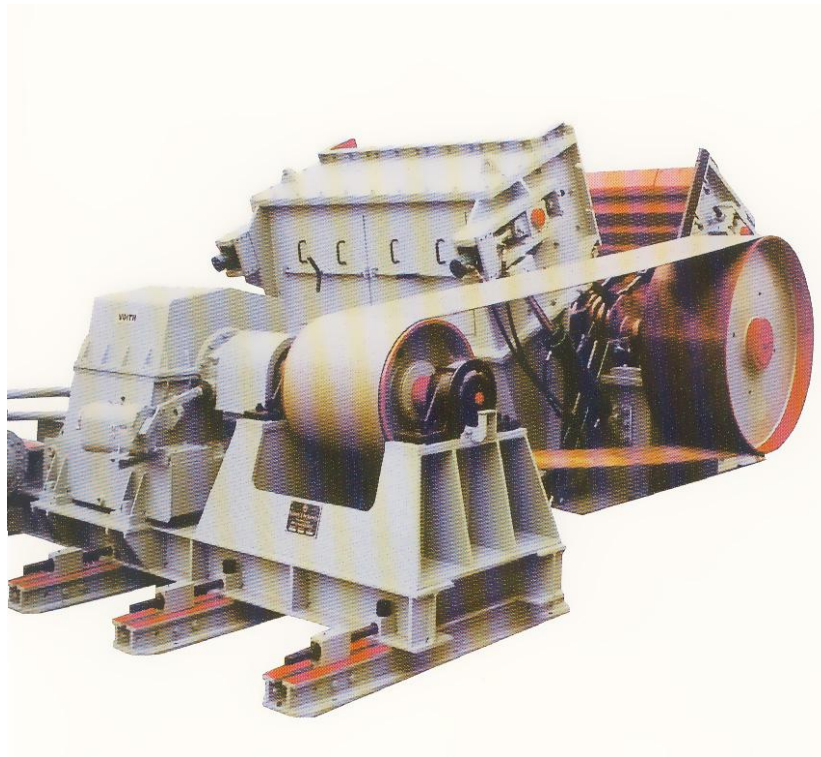


Fig. 3.79: Molino de martillos con accionamiento mediante correas (cortesía Aubema)

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

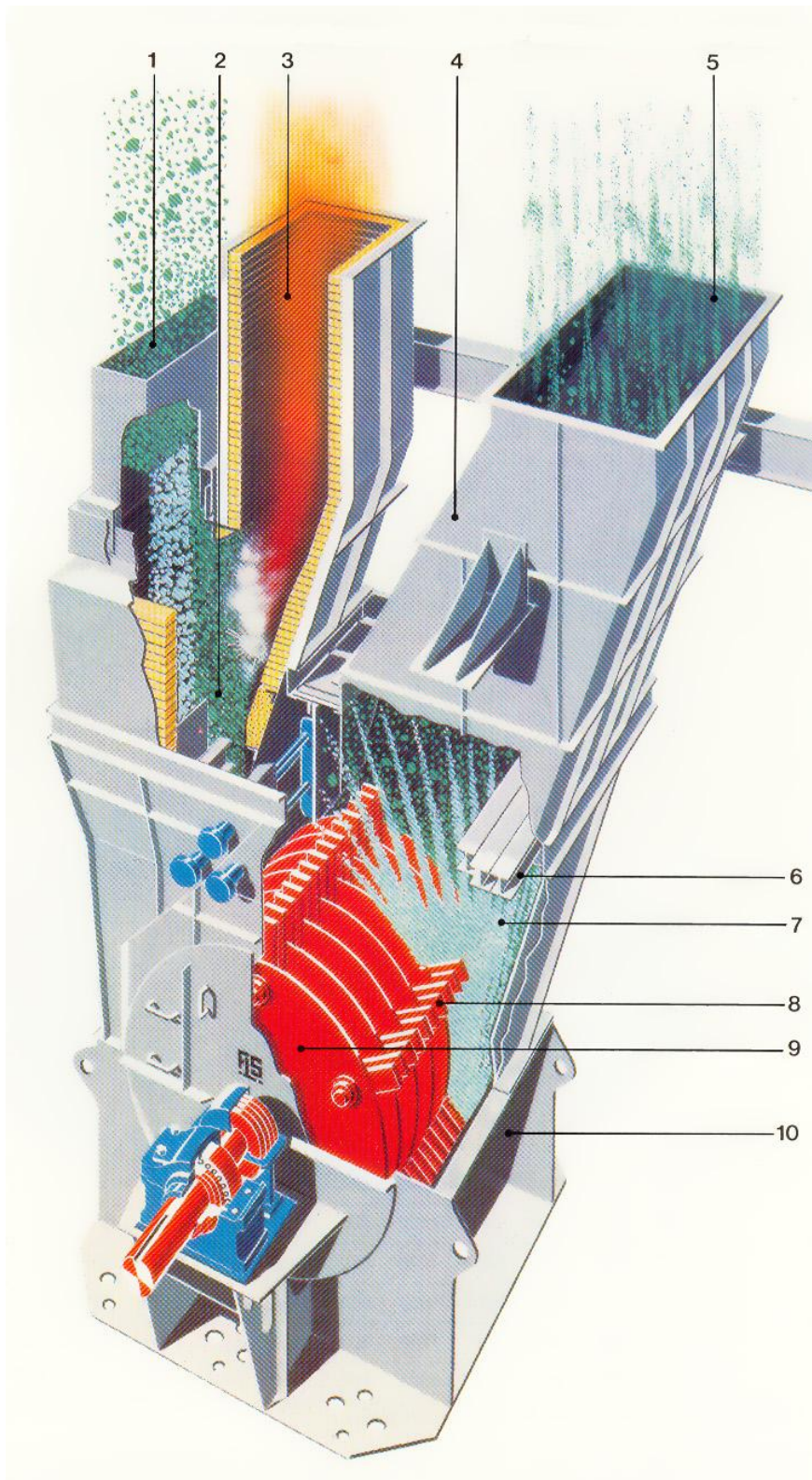


Fig. 3.80: Secador pulverizador de martillos (cortesía de F.L.Smith).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

En la figura 3.80 se muestra un equipo de trituración fina de materias primas pegajosas, no abrasivas (caliza, creta, arcilla, etc.) con un contenido de agua del 10-30 %; dirigidas a fábricas de cemento para la obtención de clinker.

El tamaño de alimentación fluctúa entre **0-120 mm**.

El tamaño de salida varía entre **0-1 mm**.

Las partes señaladas en la figura anterior son:

1. Entrada del mineral.
2. Cámara de mezclado con los gases calientes (500-800°C).
3. Entrada de los gases calientes.
4. Cámara de separación.
5. Salida del producto seco (1-3 % de agua).
6. Elementos de impacto.
7. Cámara de trituración.
8. Martillos (25-35 m/s).
9. Rotor con martillos.
10. Bastidor inferior.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

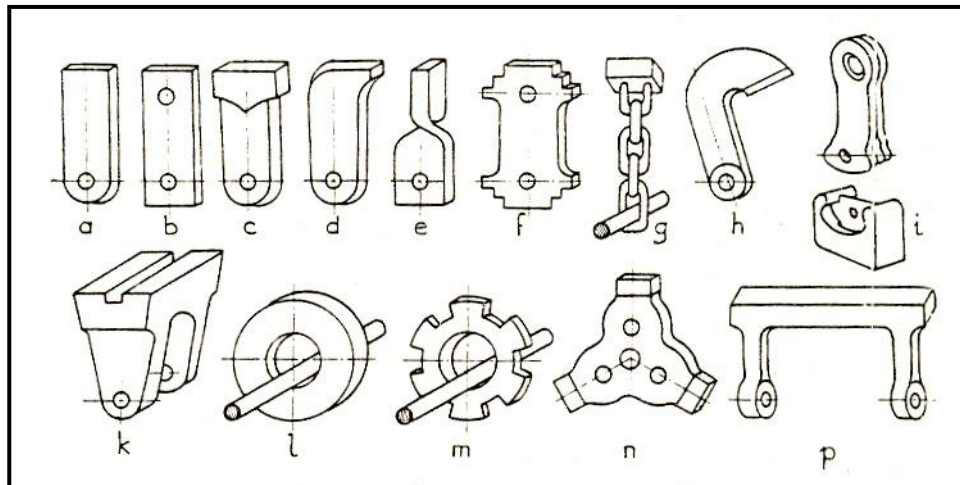


Fig. 3.81: Diferentes tipos de martillos (Blanc, 1975).

Los diferentes usos de los martillos según su forma son:

- (a) Es el más empleado y el más simple.
- (b) Martillo reversible.
- (c) Martillo pesado con ensanchamiento de la cabeza.
- (d) Martillo para materiales tenaces y fibrosos.
- (e) Martillo para pulverización.
- (f) Martillo reversible.
- (g) Martillo formado por una masa metálica y cadena para el desterronamiento de abonos.
- (h) Martillo con forma de cuchilla.
- (i) Martillo con cabeza sustituible.
- (k) Martillo pesado para trituración primaria.
- (l) Batidores para el tratamiento de materiales metálicos (virutas, chapas finas, etc.).
- (m) Batidores para las mismas aplicaciones que el anterior.
- (n) Martillo especial.
- (p) Martillo con forma de estribo.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Ventajas de los molinos de impacto y percusión:

- ⇒ Elevada relación de reducción (10:1,c.a.-40:1,c.c.).
- ⇒ Adecuados para el tratamiento de material pegadizo.
- ⇒ Trituración más selectiva (mejor liberación).
- ⇒ Da un producto con un buen factor de forma (mejor cubicidad).

Inconvenientes de los molinos de impacto y percusión:

- ⇒ No son adecuados para materiales abrasivos, salvo que sean muy blandos.
- ⇒ No son adecuados para materiales duros, salvo que tengan textura estratificada.
- ⇒ Elevado consumo de acero.
- ⇒ Se necesita regular la altura de alimentación y distribuir la alimentación a lo largo del rotor; para ello se deberán usar tolvas de alimentación.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Dimensionado de un Molino de Impacto y Percusión

Para el dimensionado de una trituradora de impacto y percusión, los parámetros que hay que estudiar son los siguientes:

1. $D_{\text{máx.}}$ y Diámetro del Rotor.
2. Capacidad y Reglaje.
3. Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.
4. Potencia absorbida y Potencia motor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

1. $D_{\text{máx.}}$ y Diámetro del Rotor.

El diámetro del rotor (\varnothing) viene dado en función del tamaño máximo de la alimentación ($D_{\text{máx.}}$):

Trituración Primaria:

$$\varnothing_{\text{rotor}} \approx D_{\text{máx}}$$

Trituración Secundaria:

$$0.35 \cdot \varnothing_{\text{rotor}} \approx D_{\text{máx}}$$

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

2. Capacidad y Reglaje.

En este tipo de equipos el **Reglaje** es la distancia mínima ente el extremo del percutor o barrote y las placas de impactos.

La **capacidad** que puede proporcionar una máquina es función de la naturaleza del mineral, no existiendo fórmulas para su cálculo.

Los fabricantes proporcionan tablas y gráficos para estimar este dato de una forma orientativa.

3. Granulometría y % de paso por la malla de reglaje.

El % de paso por la malla de reglaje va a depender del tipo de equipo, existiendo amplias variaciones:

Según **Hazemag**: 93-95 % de paso.

Según **Nordberg**: 50-80 % de paso.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.
TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

La granulometría que proporciona una máquina de este tipo la podemos obtener mediante la curva (B) que se muestra en la figura siguiente:

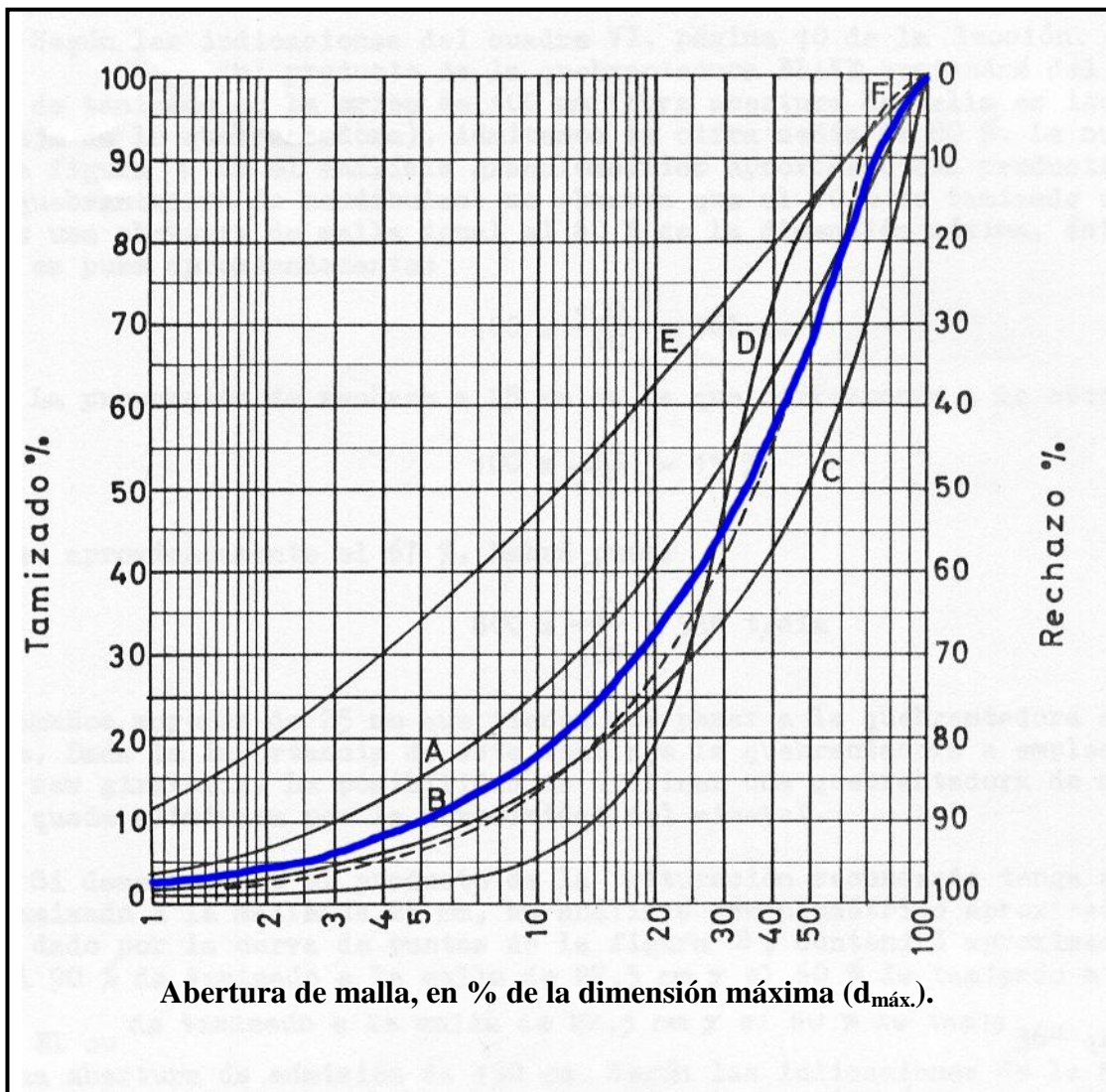


Fig. 3.82: Granulometría de salida para un triturador de impacto y martillos (ETSIMV, 1996).

En abscisas tenemos la abertura de malla expresada en % de la dimensión máxima a la que le corresponde un % de paso (o rechazo) que viene dado en ordenadas.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

4. Potencia de los molinos de impacto y martillos.

La **potencia absorbida**, según Bond, viene dada por:

$$P_a = 10 \cdot w_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q \quad (3.18)$$

Donde:

P_a = Potencia absorbida (kW).

Q = Capacidad de la trituradora (t/h).

Trituradores de Impacto

La **potencia del motor o potencia útil**: $P_m = 1.6 \cdot P_a$

Trituradores de Martillos

La **potencia del motor o potencia útil**: $P_m = 1.6 \cdot P_a$

Con el dato de la potencia útil se entrará en las tablas de los fabricantes, para comprobar que el motor del modelo seleccionado posee como **mínimo** este valor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Cálculo de la Altura de Alimentación (H)

En el caso de tener alimentación por caída libre o por caída por deslizamiento se calcula la altura H, con el fin de que el fragmento que penetra entre dos percutores consecutivos, caiga con una altura suficiente que le impida llegar hasta el rotor, evitando de esta forma su temprano deterioro y por otro lado evitar que le alcance únicamente el extremo del percutor.

La altura ideal (H) es aquella para la cual los fragmentos consiguen penetrar hasta media altura (R) de la cara activa de los martillos o percutores.

Vamos a definir una serie de términos que utilizaremos en el cálculo y son los siguientes (ver fig. 3.83):

- R = Penetración ideal = $\frac{1}{2}$ altura del percutor.
- D = Diámetro exterior de la trayectoria del percutor.
- n = r.p.m.
- t = Tiempo transcurrido entre el paso de dos percutores consecutivos.
- S = Separación entre percutores.
- E = Ancho del martillo o percutor.

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

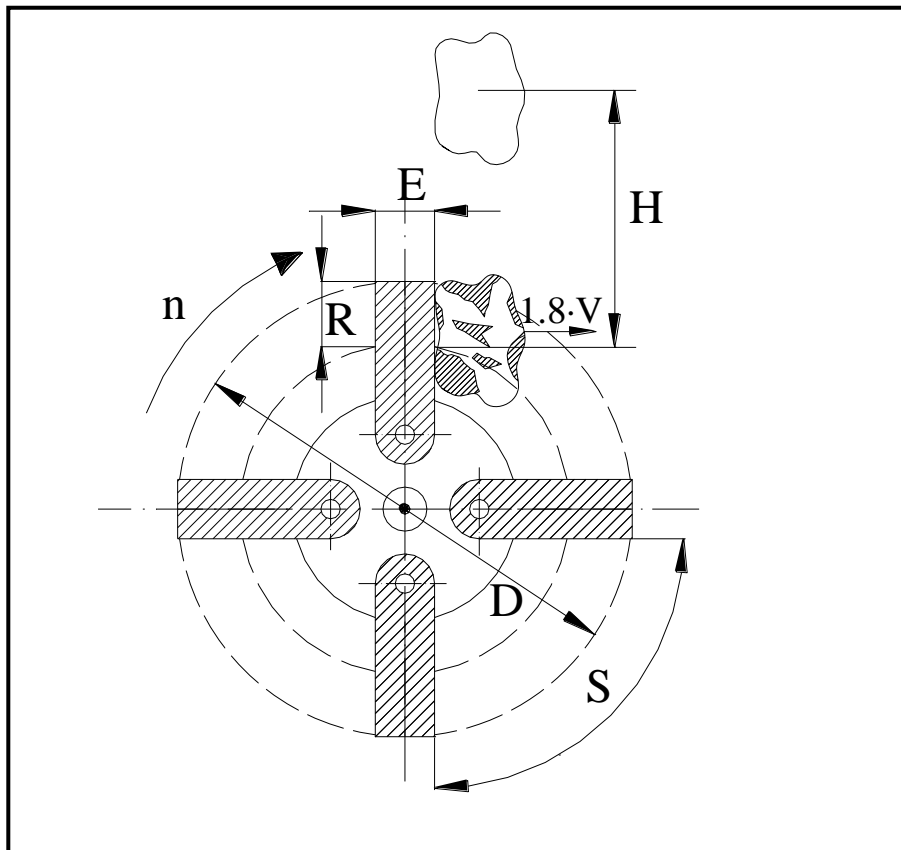


Fig. 3.83: Esquema de trabajo de un molino de martillos.

Longitud de la circunferencia: $D \cdot \pi$.

Con N percutores se cumple que: $s' = D \cdot \pi / N$.

Donde S será:

$$S = s' - \frac{E}{2} - \frac{E}{2} = s' - E = \frac{D \cdot \pi}{N} - E = \frac{D \cdot \pi - N \cdot E}{N}$$

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

Pasando r.p.m. a m/s nos queda:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

El **tiempo (t)** que tarda en recorrer un percutor el espacio existente entre dos percutores consecutivos será:

$$t = \frac{\frac{\pi \cdot D - N \cdot E}{N}}{\frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}} = \frac{60(\pi \cdot D - N \cdot E)}{\pi \cdot D \cdot n \cdot N}$$

La velocidad (V) que deberá llevar el fragmento para que en ese tiempo (t) penetre en el percutor el espacio (R) debe cumplir:

$$V = \frac{R}{t} = \frac{R \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot N}{60 \cdot (\pi \cdot D - N \cdot E)}$$

Luego la altura de alimentación (H) será:

$$H = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot C = \frac{(R \cdot \pi \cdot D \cdot n \cdot N)^2}{3600 \cdot (\pi \cdot D - N \cdot E)^2 \cdot 2 \cdot g} \cdot C \quad (3.19)$$

Nota: C toma el valor de 1 (caída libre) o 1.7 (alimentación con plano inclinado a 45°, coef. de rozamiento: 20%).

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.

A continuación se presenta una tabla que nos indica el tipo de comportamiento de los equipos vistos en el tema 3 frente a los materiales según su naturaleza.

Tabla 3.15: Tipos de máquinas y su comportamiento

ETAPA	EQUIPOS	COMPORTAMIENTO			
		DUREZA	ABRASIÓN	HUMEDAD	ADHERENCIA
Primaria (De 1 m a 10 cm)	Mandíbulas D/Efecto	---	---	-	
	Giratorias	---	---		
	Mandíbulas S/Efecto	---	--	-	
	Molino de Impacto	--	--	--	--
	Cilindros Dentados	-	-	---	---
	Cilindro y Mandíbula	-	-	---	--
Secundaria (De 10 cm a 1 cm)	Giratoria	---	---		
	Mandíbulas D/Efecto	---	---	-	
	Mandíbulas S/Efecto	---	--	-	
	Molino de Impacto	--	--	--	--
	Molino de Martillos	--	--	--	--
	Cilindros dentados	-	-	---	---
	Cilindro y Mandíbula	-	-	---	--
	Cilindros Lisos	-	-	---	---
Cilindros Acanalados	-	-	---	--	

BLOQUE 2: OPERACIONES DE PREPARACIÓN.**TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO. TRITURACIÓN.**

	Conos	---	---		
Terciaria (De 1 cm a 1 µm)	Molino de Martillos	--	--	--	--
	Cilindros Lisos	-	-	---	---
	Conos	---	---		
	Giradisco	---	---		

Nota: ---: Muy Bueno; --: Medio; -: Bajo.