



Universidad
Politécnica
de Cartagena

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RECURSOS MINERALES

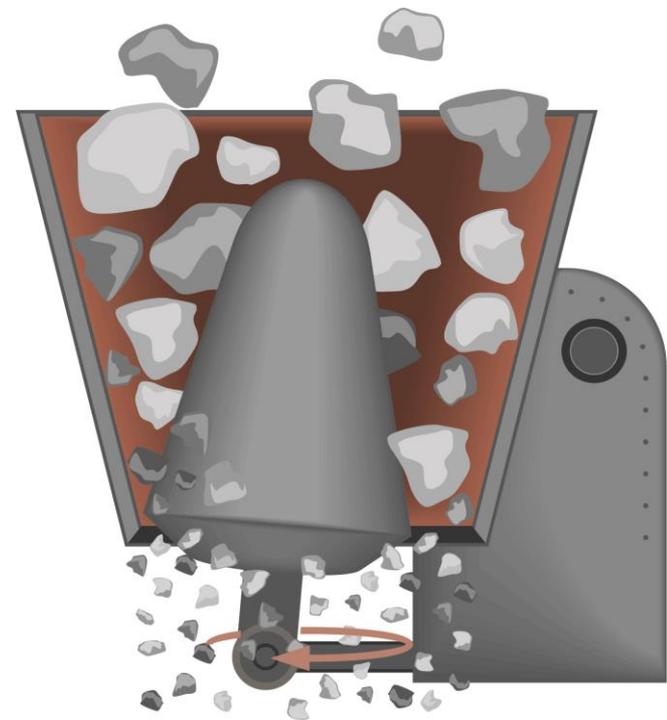


TEMA 4: GIRATORIAS y CONOS



4

GIRATORIAS Y CONOS



INDICE

1. Breve introducción. Conceptos teóricos básicos
2. Factores de diseño. Giratorias Primarias y Conos
3. Factores generales de diseño de circuitos
4. Factores de trabajo u operación generales
5. Cálculo de la velocidad de giro
6. Estimación de la capacidad teórica
7. Cálculo de la potencia
8. Referencias para consulta

1. Breve Introducción. Conceptos teóricos básicos

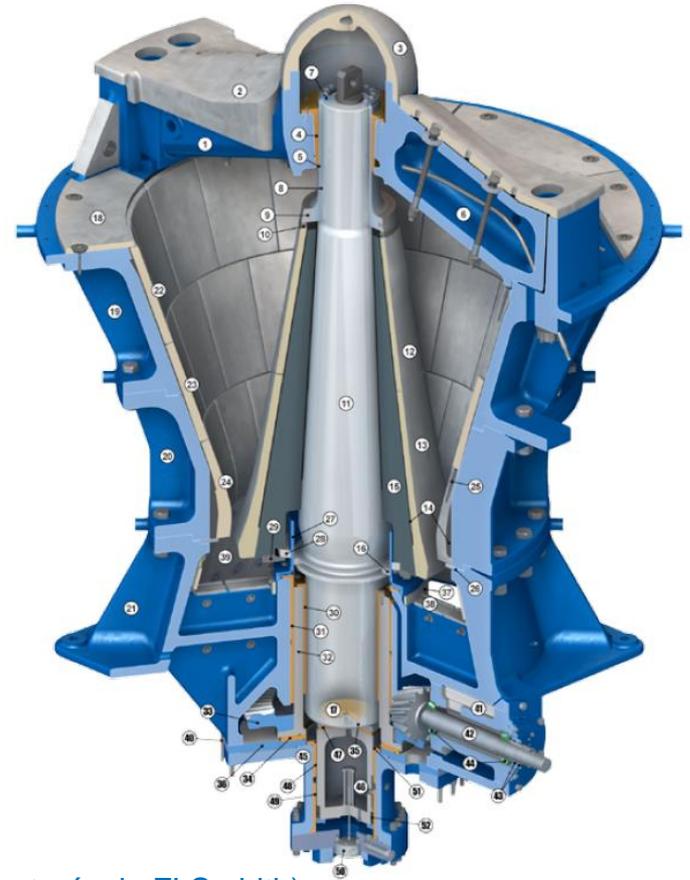
Giratorias

Fueron inventadas en 1877 por Charles Brown y desarrolladas y patentadas por Gates en 1881.

Los equipos primarios están diseñados para admitir mineral todo-uno directamente (10:1).

Su mecanismo de trituración es similar al de las trituradoras de mandíbulas: acciones de compresión, principalmente.

A diferencia de las trituradoras de mandíbulas pueden admitir bloques alargados (*slabby rocks*).



(Cortesía de FLSmidth)



1. Breve Introducción. Conceptos teóricos básicos

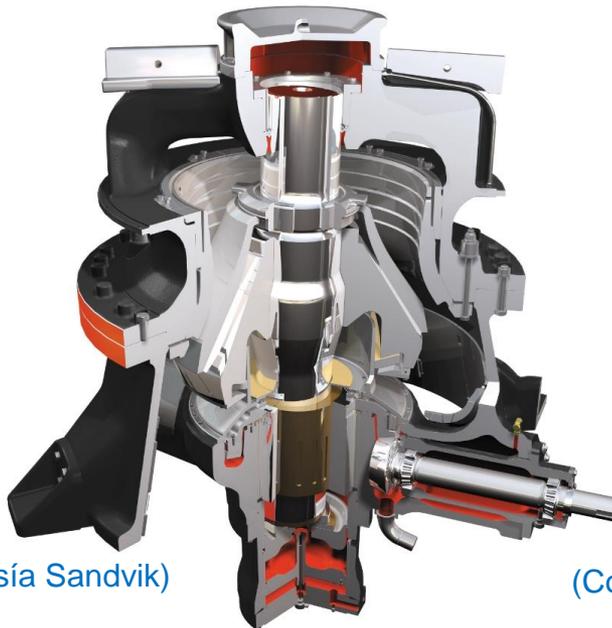
Conos

(Fuente: Shutterstock)

A los equipos de menor tamaño se les conoce como conos.

Los conos se basan en el mismo principio que las giratorias pero varían sus detalles constructivos.

Pueden darse etapas secundarias (8:1) y terciarias (10:1).



(Cortesía Sandvik)

(Cortesía Sandvik)





1. Breve Introducción. Conceptos teóricos básicos

Otros tipos de trituradoras

Selección de los equipos de trituración en función de la resistencia a compresión de los minerales (dureza).

<u>No.</u>	<u>Designation</u>	<u>Impact Strength</u> <u>(foot-pounds per inch)</u>	<u>Compressive</u> <u>Equivalent</u> <u>(PSI)</u>	<u>Compressive</u> <u>Equivalent</u> <u>MPA</u>
VI	Extremely hard	above 24	above 33,000 psi	+250
V	Very hard	20-24	33,000 psi	230
IV	Hard	16-20	27,500 psi	190
III	Medium	12-16	22,000 psi	150
II	Soft	8-12	16,500 psi	115
I	Very soft	below 8	10,000 psi	70

Impact Range

Above 24

20-24

16-20

Crusher

Gyratory
Double Toggle Jaw

Gyratory
Double Toggle Jaw

Gyratory
Double Toggle Jaw
Single Toggle Jaw
Low Speed Sizer

12-16

Gyratory
Double Toggle Jaw
Single Toggle Jaw
Low Speed Sizer
High Speed Roll
Feeder Breaker

8-12

Gyratory
Double Toggle Jaw
Single Toggle Jaw
Low Speed Sizer
High Speed Roll
Feeder Breaker
Impactor
Hammermill

0-8

Gyratory
Double Toggle Jaw
Single Toggle Jaw
Low Speed Sizer
High Speed Roll

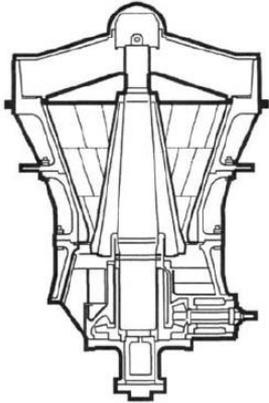
Feeder Breaker
Impactor
Hammermill

1. Breve Introducción. Conceptos teóricos básicos

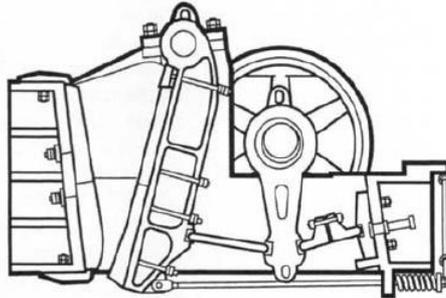
Otros tipos de trituradoras

Principales tipos de trituradoras.

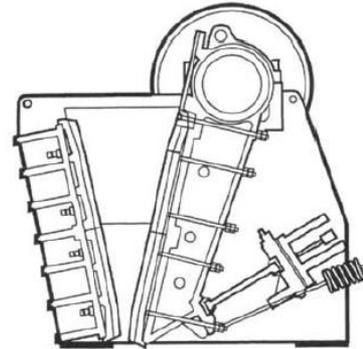
PRIMARY GYRATORY CRUSHER



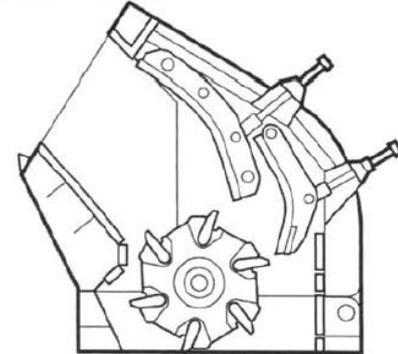
DOUBLE TOGGLE DESIGN



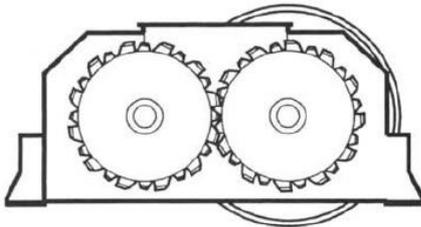
SINGLE TOGGLE DESIGN



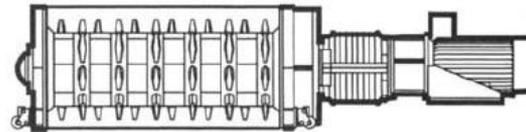
IMPACT CRUSHER



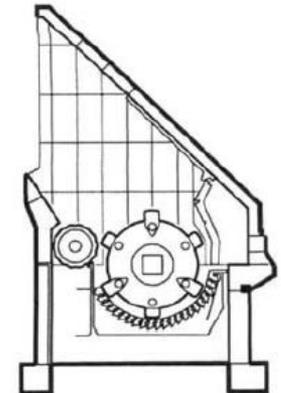
DOUBLE ROLLS



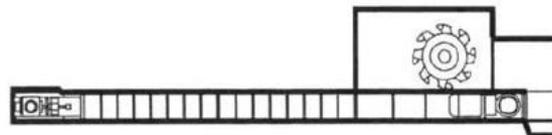
LOW SPEED SIZER



HAMMERMILL



FEEDER BREAKERS



(Fuente: Mineral Processing Plant Design (SME, 2002))

2. Factores de diseño. Giratorias Primarias

Los factores de diseño que siguen reglas prácticas, son:

- Abertura de entrada (G), en metros

- Para tamaños < 66 cm:

$$\text{Circunferencia salida} = 8-10 \times G$$

- Para tamaños > 66 cm:

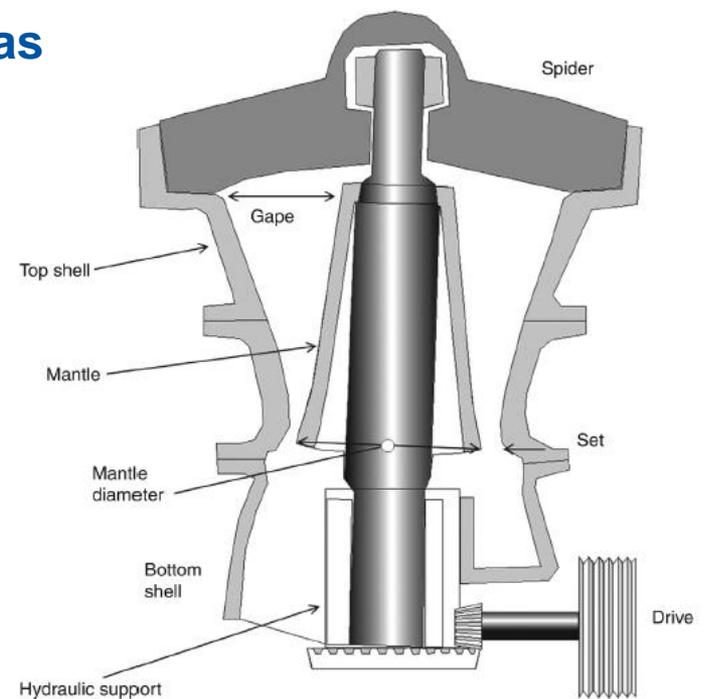
$$\text{Circunferencia salida} = 6.5-7.5 \times G$$

- Tamaño de alimentación

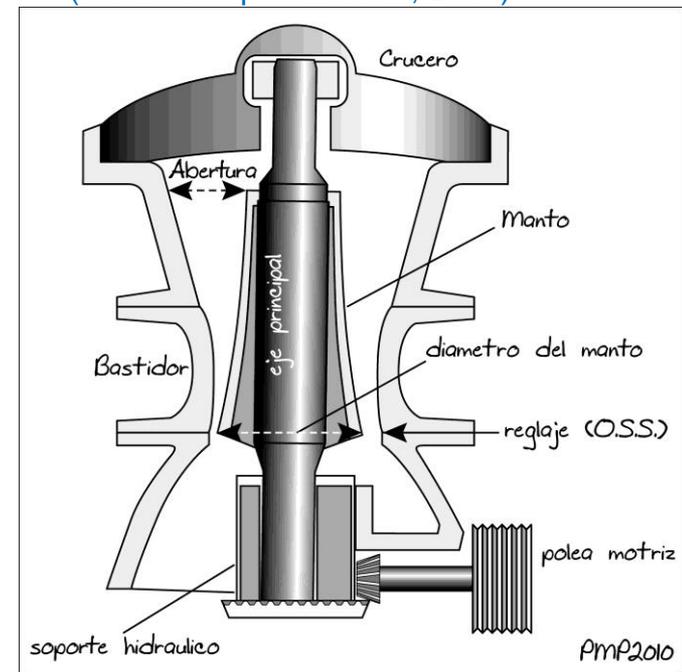
$$0.9 \times G$$

- Rango de la razón de reducción

$$3:1 \text{ a } 10:1$$



(Fuente: Gupta and Yan, 2016)

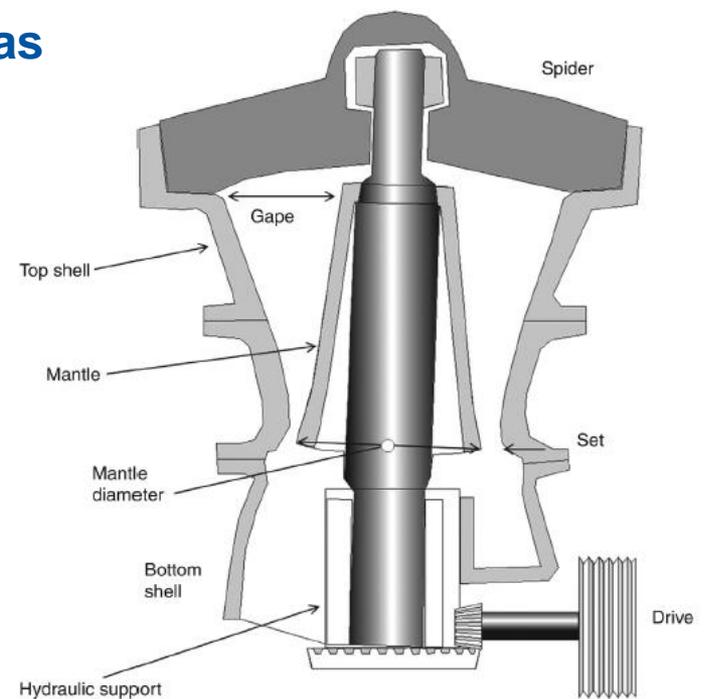
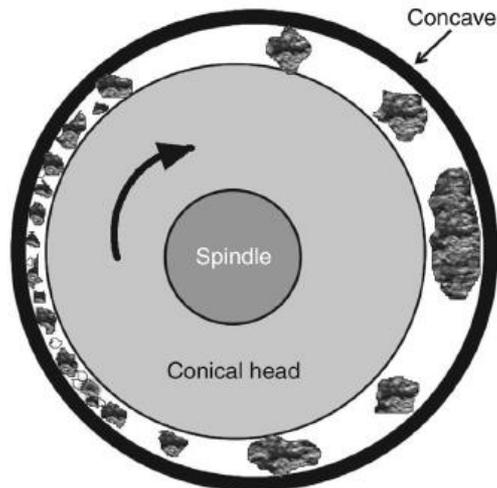


2. Factores de diseño. Giratorias Primarias

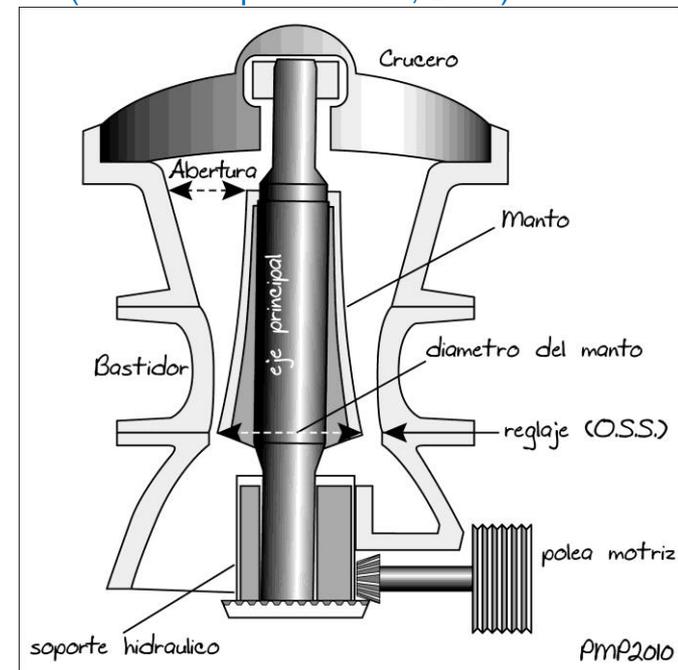
Los factores de diseño que siguen reglas prácticas, son:

Para las grandes giratorias el ángulo de la cámara se adopta de:

- Apróx. 22° (“*angle nip*”).
- De entre 27° y 30° para superficies curvas.



(Fuente: Gupta and Yan, 2016)





2. Factores de diseño. Giratorias Primarias

Información de los fabricantes o suministradores

Datos de capacidades y especificaciones técnicas de los equipos

Giratorias Primarias Serie Superior MK-II de Metso

Size	Feed Opening mm (in.)	Pinion RPM	Max. KW (HP)	Open Side Settings of Discharge Opening — Millimeters (Inches)										
				125mm (5.0")	140mm (5 1/2")	150mm (6")	165mm (6 1/2")	175mm (7")	190mm (7 1/2")	200mm (8")	215mm (8 1/2")	230mm (9")	240mm (9 1/2")	250mm (10")
42-65	1065 (42)	600	375 (500)		1635 (1800)	1880 (2075)	2100 (2315)	2320 (2557)						
50-65	1270 (50)	600	375 (500)			2245 (2475)	2625 (2895)	2760 (3040)						
54-75	1370 (54)	600	450 (600)			2555 (2820)	2855 (3145)	3025 (3335)	3215 (3545)	3385 (3735)				
62-75	1575 (62)	600	450 (600)			2575 (2840)	3080 (3395)	3280 (3615)	3660 (4035)	3720 (4205)				
60-89	1525 (60)	600	600 (800)				4100 (4520)	4360 (4805)	4805 (5295)	5005 (5520)	5280 (5820)	5550 (6115)		
60-110	1525 (60)	514	1000 (1400)					5575 (6150)	5845 (6440)	6080 (6705)	6550 (7220)	6910 (7620)	7235 (7975)	7605 (8385)

(Cortesía Metso)

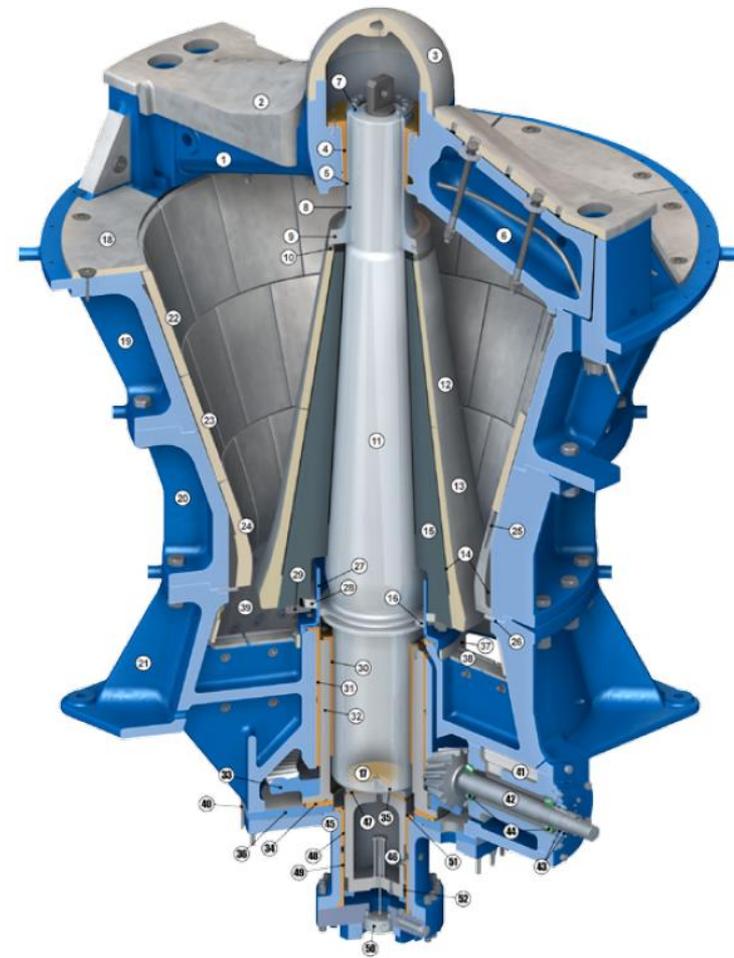


2. Factores de diseño. Giratorias Primarias

Hace unos años coexistían giratorias de eje largo y eje corto (“*long-shaft type*”, o “*short-shaft type*”).

Y el eje principal podía estar suspendido, soportado o fijado

- Actualmente, la mayoría de las giratorias son de eje corto soportado (apoyo inferior hidráulico):



(Cortesía de FLSmidth)

Characteristics	Small	Large
Size	762–1524 mm	2133–2794 mm
Set range	50.8–152 mm	178–305 mm
Rev./min	425	275
Motor rating	149	750

(Fuente: Gupta and Yan, 2016)

2. Factores de diseño. Conos

(Fuente: Gupta and Yan, 2016)

Fueron diseñados por Symons en 1920.

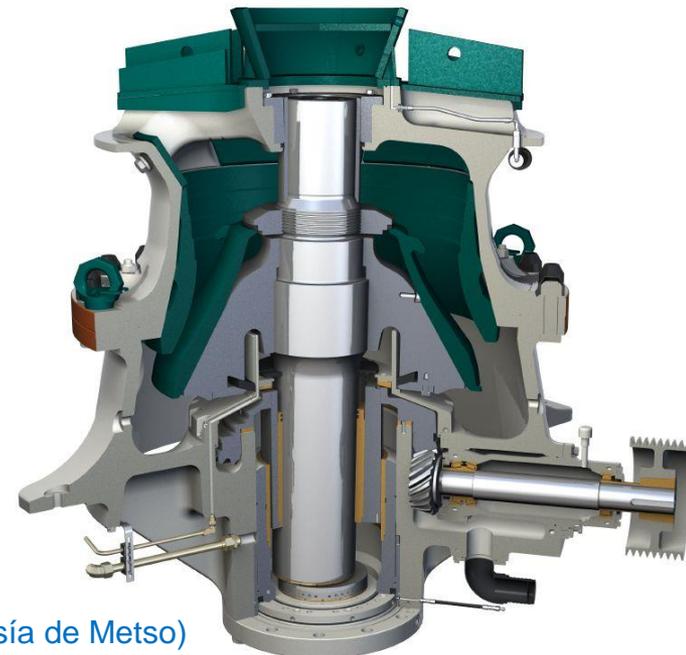
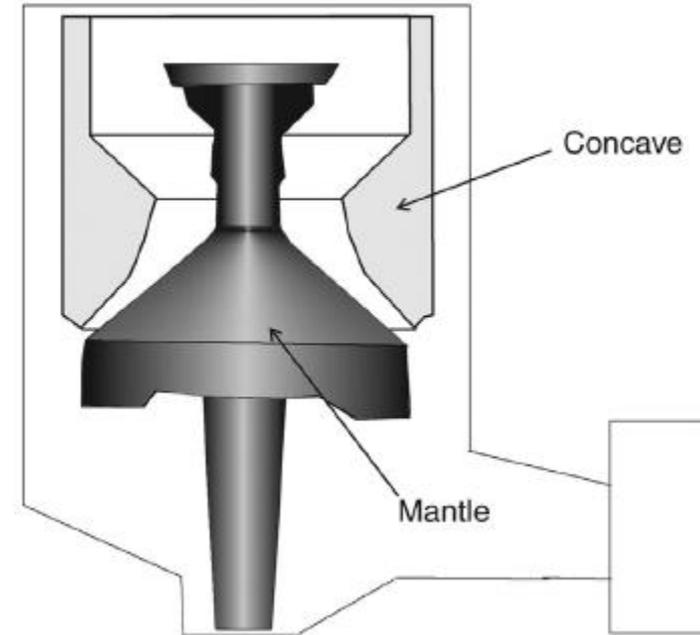
El mecanismo de trituración es similar al de las giratorias.

El eje principal es soportado desde la parte inferior.

Presentan un ratio ancho de nuez/distancia vertical, mayor que las giratorias.

Ángulo más tendido el que forma la superficie del cóncavo con la del manto y progresan paralelas.

Presentan mayores razones de reducción (8:1) y partículas más finas



(Cortesía de Metso)



2. Factores de diseño. Conos

Para trituración secundaria se emplea el cono de tipo estándar (“*Standard Type*”).

Para trituración terciaria y cuaternaria se emplea el cono de cabeza corta (“*Short Head*”).

Tamaños de alimentación en secundaria entre 150 y 350 mm

Tamaños de producto en secundaria de entre 25 y 60 mm

Para tamaños inferiores a 6 mm se emplean conos denominados Giradicos donde la acción de atricción predomina sobre la de impacto o compresión.

Tamaños de alimentación inferior a 50 mm y tamaños de producto inferiores a 6-9 mm

- Actualmente, la regulación del reglaje se hace de dos formas o actuando sobre el tazón superior o sobre la parte inferior del eje principal.

Cono Symons Standard



(Cortesía de Metso)



(Cortesía de Metso)

3. Factores generales de diseño de circuitos.



Las giratorias primarias rara vez se instalan en subterráneo.

El mineral se recibe a través de tolva alimentada con descarga directa de volquetes mineros, vagones de descarga lateral o a través de cinta transportadora.

A veces se coloca un “*grizzly*” para retirar o evitar que grandes bloques entren en el equipo.

Las giratorias primarias trabajarán siempre en circuito abierto.

Los conos en etapas secundarias o terciarias trabajarán en circuito cerrado.

Cuando se necesiten capacidades superiores a 900 t/h se deberá elegir una trituradora giratoria primaria.

3. Factores generales de diseño de circuitos.



El máximo tamaño de entrada a una giratoria primaria será de 1-1.5m.

El tamaño máximo de producto será de 10-15cm (razón 10:1).

Con esos tamaños será necesario un etapa secundaria e incluso una terciaria para conseguir la liberación del mineral.

Los rangos para las razones de reducción, en general se mueven entre:

1. Trituración primaria: 3:1 a 10:1
2. Trituración secundaria: 6:1 a 8:1
3. Trituración terciaria: 10:1

Como regla general la abertura de una trituradora (Gape) será 1.1 veces el tamaño de alimentación.

Determinada la abertura el resto de parámetros de la trituradora se basan en ella y a partir de tablas.

4. Factores de trabajo u operación generales



La mayor parte de las operaciones de trituración se realizan por vía seca.

Las giratorias pueden admitir mineral con contenido de humedad de hasta el 10%.

Se recomienda alimentar mineral con contenido de finos por debajo del 10%.

Los fabricantes suministrarán las características operacionales de los equipos a través de curvas, donde la caliza será la roca de referencia.

Size Gape × Dia. of Mantle (mm)	L_{MAX} (Open Set) (mm)	L_T (Throw) (mm)	Gyration/min	Capacity (Production) (t/h)	Work Index of Ore (kWh/t)
1219 × 1879	200	34	135	2200	–
1371 × 1879	137–223	44	135	3100	–
1828 × 2311	194	44	111	2750	13
1524 × 2268	200–275	37	113	3200	6
1524 × 2268	238–275	37	92	3180	12
1219 × 2057	175–188	37	93	1330	10
1524 × 2591	225	34	134	2290	–

(Fuente: Gupta and Yan, 2016)

5. Cálculo de la velocidad de giro



Es importante determinar la velocidad de giro de una giratoria para cumplir con el tamaño de producto y la producción del equipo.

Como regla, la velocidad de giro es inversamente proporcional al tamaño de alimentación.

Como primera estimación se puede emplear la siguiente expresión:

$$v \geq \frac{665(\sin \theta - \mu \cos \theta)}{\sqrt{d}} \text{ ciclos por minuto}$$

θ = Inclinación del cono con la horizontal

μ = Coeficiente de fricción del mineral

d = Tamaño del producto de la trituradora (cm)

6. Estimación de la capacidad teórica

Giratorias primarias

El mecanismo trituración de una giratoria se considera similar al seguido por las trituradoras de mandíbulas.

La principal diferencia es que las regiones de trituración, en lugar de considerarse como cuñas, en éstas se consideran con formas de anillos o espirales.

Para cada anillo, su sección será considerada como similar a la cámara de trituración de una machacadora de mandíbulas.

Estas secciones presentarán un ángulo de inclinación θ con respecto a la horizontal.

La operación de trituración de una giratoria involucra sólo la mitad de su superficie (*mandíbulas: toda la superficie es involucrada*).



6. Estimación de la capacidad teórica

Giratorias primarias

Los siguientes autores han obtenido una expresión para dicha capacidad:

Hersam (*en desuso*)

Gauldie

Broman

Rose and English



(Cortesía de Sandvik)



6. Estimación de la capacidad teórica

Giratorias primarias

Método de Gauldie

Su expresión viene dada por:

$$Q = 0.35\pi \sin \theta (L_{MAX} + L_{MIN}) g \cdot H (\sin \theta - \mu \cos \theta)^{0.5}$$

Donde:

L_{MAX} = Máxima distancia entre el cono y el cóncavo (m)

L_{MIN} = Mínima distancia entre el cono y el cóncavo (m)

θ = Inclinación del cono con la horizontal

g = Aceleración debida a la gravedad (m/s^2)

H = Altura vertical de la cámara de trituración

Esta expresión en la práctica es difícil de aplicar al necesitar el ángulo de inclinación el cual no siempre es fácil de obtenerlo.



6. Estimación de la capacidad teórica

Giratorias primarias

Método de Broman

Su expresión viene dada por:

$$Q_V = \frac{(D_M - L_{MIN}) \cdot \pi \cdot L_{MIN} \cdot L_T \cdot 60 \cdot N \cdot K}{\tan \alpha} \quad m^3/h$$

Donde:

D_M = Diámetro exterior del manto en la descarga (m)

L_{MIN} = Reglaje lado cerrado (m)

L_T = Longitud del recorrido (m)

N = Número de giros por minuto

K = Constante del material (2-3)

α = Ángulo de pellizco

Broman sugiere no sobrepasar el valor crítico de la frecuencia puesto que la producción del equipo disminuirá.



6. Estimación de la capacidad teórica

Giratorias primarias

Método de Rose and English

Su expresión viene dada por:

$$Q = \frac{w_i \cdot D \cdot \rho_s \cdot \sqrt{L_{MAX} - L_{MIN}} \cdot (L_{MAX} + L_{MIN}) \cdot K}{2 \cdot \sqrt{\frac{R}{R-1}}} \quad t/h$$

Donde:

D = Diámetro del tazón a una sección dada (m)

L_{MAX} = Máxima distancia entre tazón y el extremo inferior del manto (m)

L_{MIN} = Mínima distancia entre tazón y el extremo inferior del manto (m)

R = Razón de reducción

K = Factor estadístico:

Carbones, $K=0.5$

Minerales o rocas duras, $K=1.0$

Como recomendación final, siempre acudir a los fabricantes o suministradores de equipos para establecer las capacidades finales o definir las variables de operación.

6. Estimación de la capacidad teórica

Conos

Los métodos anteriormente vistos para estimar la capacidad de las giratorias son aplicables para los conos.

Antes de nada hay que definir el tamaño máximo de producto para el cono a dimensionar.

La abertura del cono (Gape) en etapa secundaria debe ser 1.1 veces el mayor fragmento de mineral que va a admitir.

La distribución granulométrica de la alimentación debería cumplir que un 80% de la misma sea inferior al 70% del tamaño de abertura.

La definición de producto de tamaño fino, medio o grueso, va a depender del tipo de reglaje que se disponga.

6. Estimación de la capacidad teórica

Datos de fabricantes de equipos

Capacidades de giratorias primarias para una densidad de 1.6 t/m³ y a máximo recorrido:

Model	Feed Opening (G) (mm)	L_{MAX} (mm)	Capacity (t/h)
42-65	1065	140-175	1635-2320
50-65	1270	150-175	2245-2760
54-75	1370	150-200	2555-3385
62-75	1575	150-200	2575-3720
60-89	1525	165-230	4100-5550
60-110	1525	175-250	5575-7605

(Fuente: Gupta and Yan, 2016)

Capacidades de conos en circuito abierto:

Crusher	Type	Feed Opening (Open) (mm)	L_{MIN} (mm)	Capacity (t/h)
HP800 Standard	Fine	267	25	495-730
	Medium	297	32	545-800
	Coarse	353	32	545-800
HP800 Short Head	Fine	33	5	-
	Medium	92	10	260-335
	Coarse	155	13	325-425
MP1000 Standard 2392 mm	Fine	300	25	915-1210
	Medium	390	32	-
	Coarse	414	38	1375-1750

(Fuente: Gupta and Yan, 2016)



7. Cálculo de la potencia

Giratorias y conos

Método de Bond

Este método requiere el conocimiento del índice de Bond (w_i), siendo:

$$P = 10 \cdot w_i \cdot Q \left[\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right] \text{ kW}$$

Q = Capacidad (t/h)

w_i = Índice de Bond (kWh/t)

F_{80} = Abertura por la que pasa el 80% de mineral de alimentación (μm)

P_{80} = Abertura por la que pasa el 80% de mineral triturado (μm)

Es necesario aplicar un coeficiente de corrección a la potencia calculada que para las giratorias primarias será $K=0.75$ y para los conos será $K=1$.

Referencias para consulta:



euitc

Ejercicios Resueltos de Tecnología Mineralúrgica



Pedro Martínez Pagán
Dr. Ingeniero de Minas



Universidad Politécnica de Cartagena



rai

