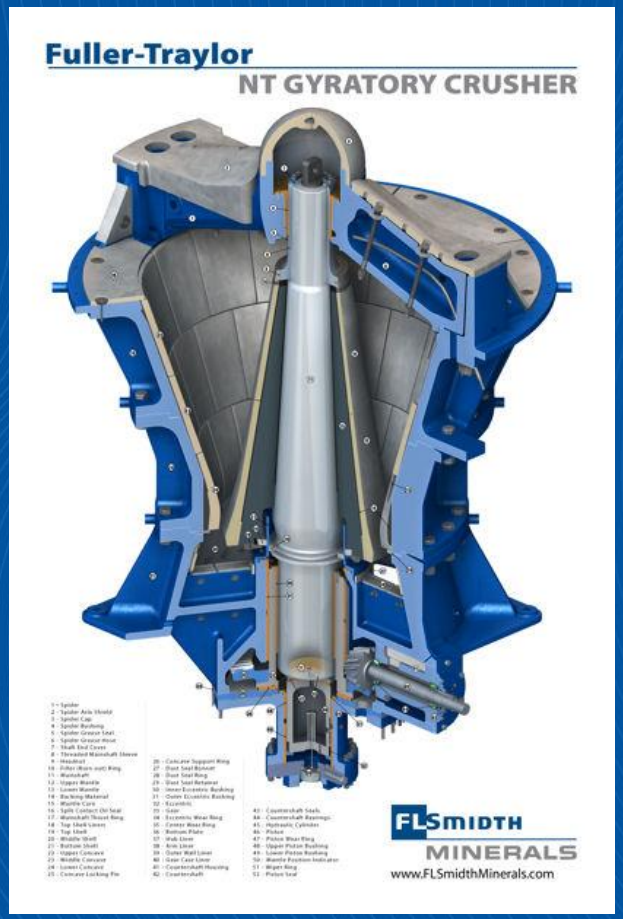
Universidad Politécnica de Cartagena

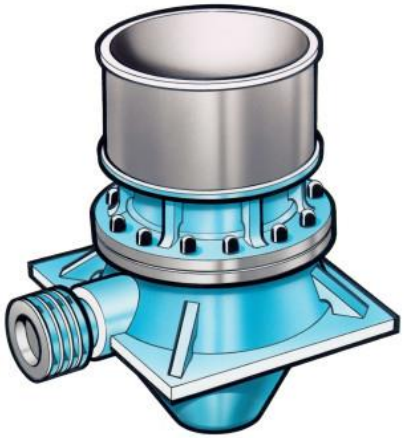
TECNOLOGÍA MINERALÚRGICA



TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO - TRITURACIÓN

PARTE 2

Universidad Politécnica de Cartagena



3

REDUCCIÓN DE TAMAÑO: TRITURACIÓN – PARTE 2

Trituradoras Giratorias y Conos

3.6. Un Poco de Historia sobre las Giratorias Primarias.

3.7. Trituradoras Giratorias Primarias.

3.8. Trituradoras Giratorias Secundarias y Terciarias.

3.9. Conos.

3.10. Selección y Dimensionado de Giratorias y Conos.

3.11. Comparativa entre equipos primarios.

Primeros Comienzos de las Giratorias Primarias

Giratorias Primarias tipo Gates. Algo de Historia:

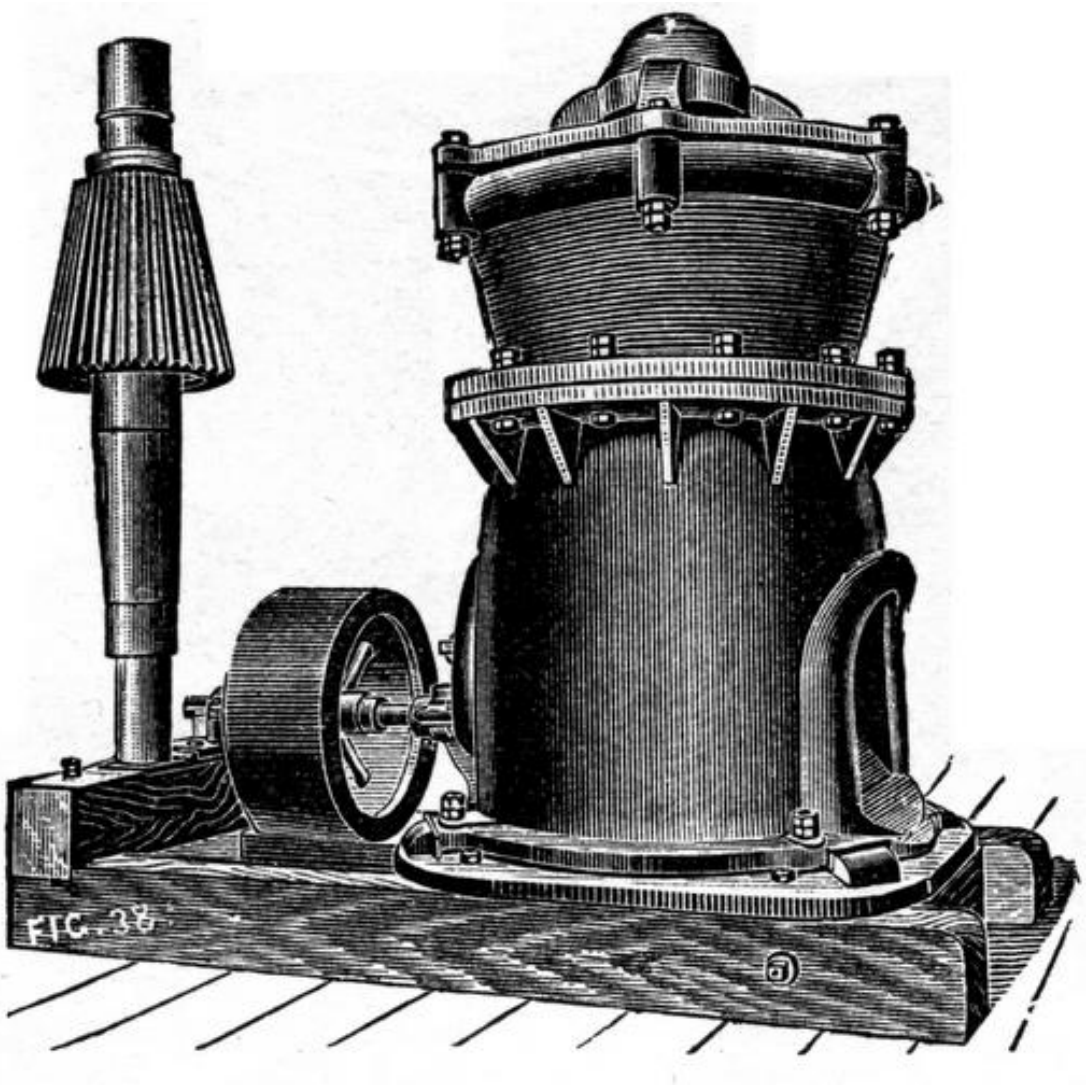
- **Philetus Gates fue uno de los primeros inventores (1860 – 1878) en introducir la idea de la trituración empleando equipos de trituración con geometría circular. Exactamente fue en 1881 cuando Gates patentó la trituradora giratoria realmente fiable (ver Figura 1).**

- **Las giratorias Gates consistían en un cono vertical suspendido de la parte superior y embutido en una camisa, o casquillo, excéntricos en la parte inferior, ambos girando solidariamente dentro de un cono inferior (ver Figura 2).**

- **La acción de fragmentación se producía como consecuencia de la aproximación de la superficie móvil de trituración (denominada manto) hacia la superficie fija de trituración (denominada cóncavo).**

- **La parte superior diseñada en forma circular ofrecía una mayor entrada de alimentación y menores problemas de bloqueo por aquellos fragmentos todo-uno de mayor tamaño (Figura 3).**

- **La descarga del mineral triturado se realizaba lateralmente; hoy en día, la trituradoras giratorias realizan la descarga por la parte inferior del equipo.**



(Figura 1) Primeros modelos tipo Gates (1881)

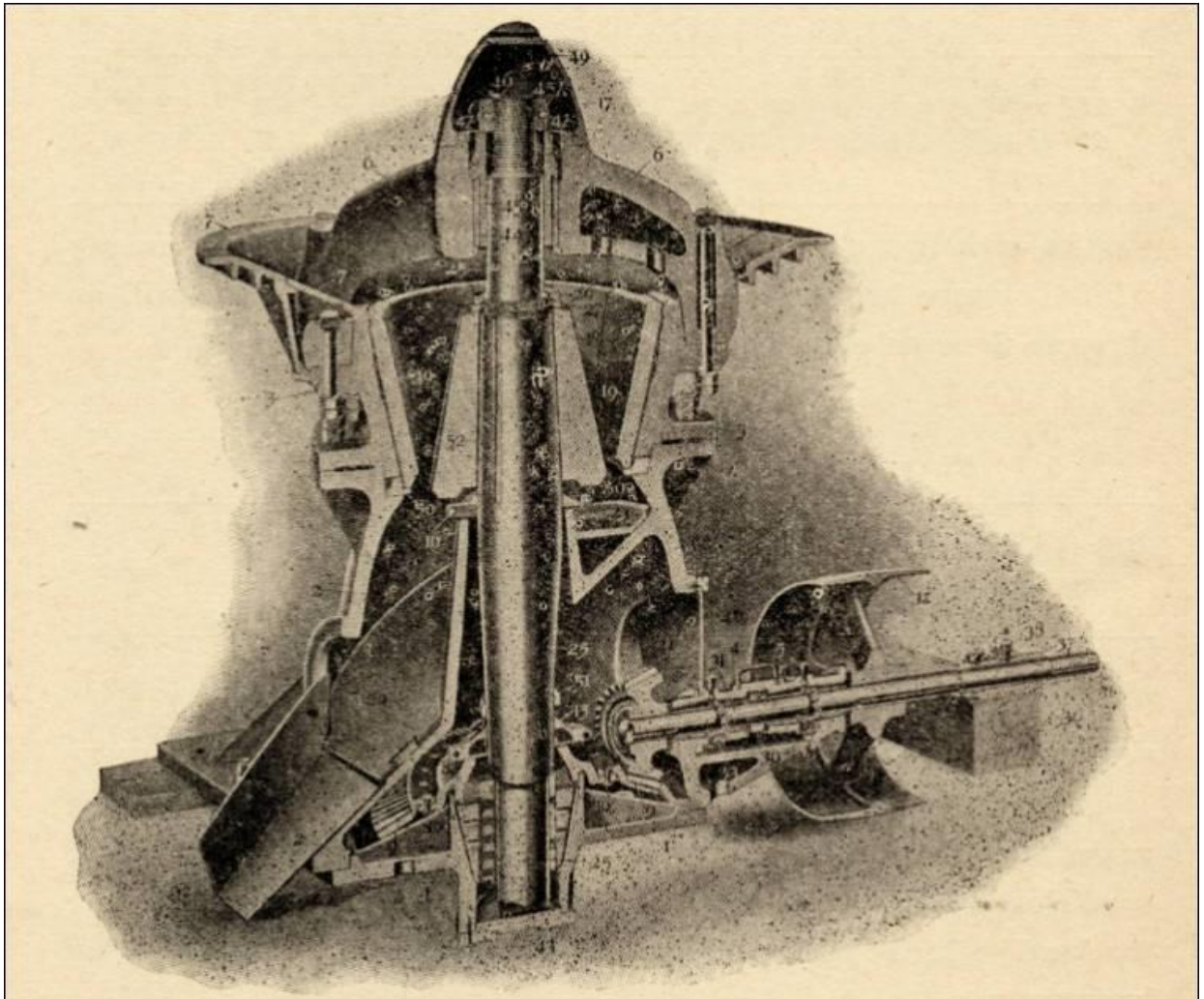
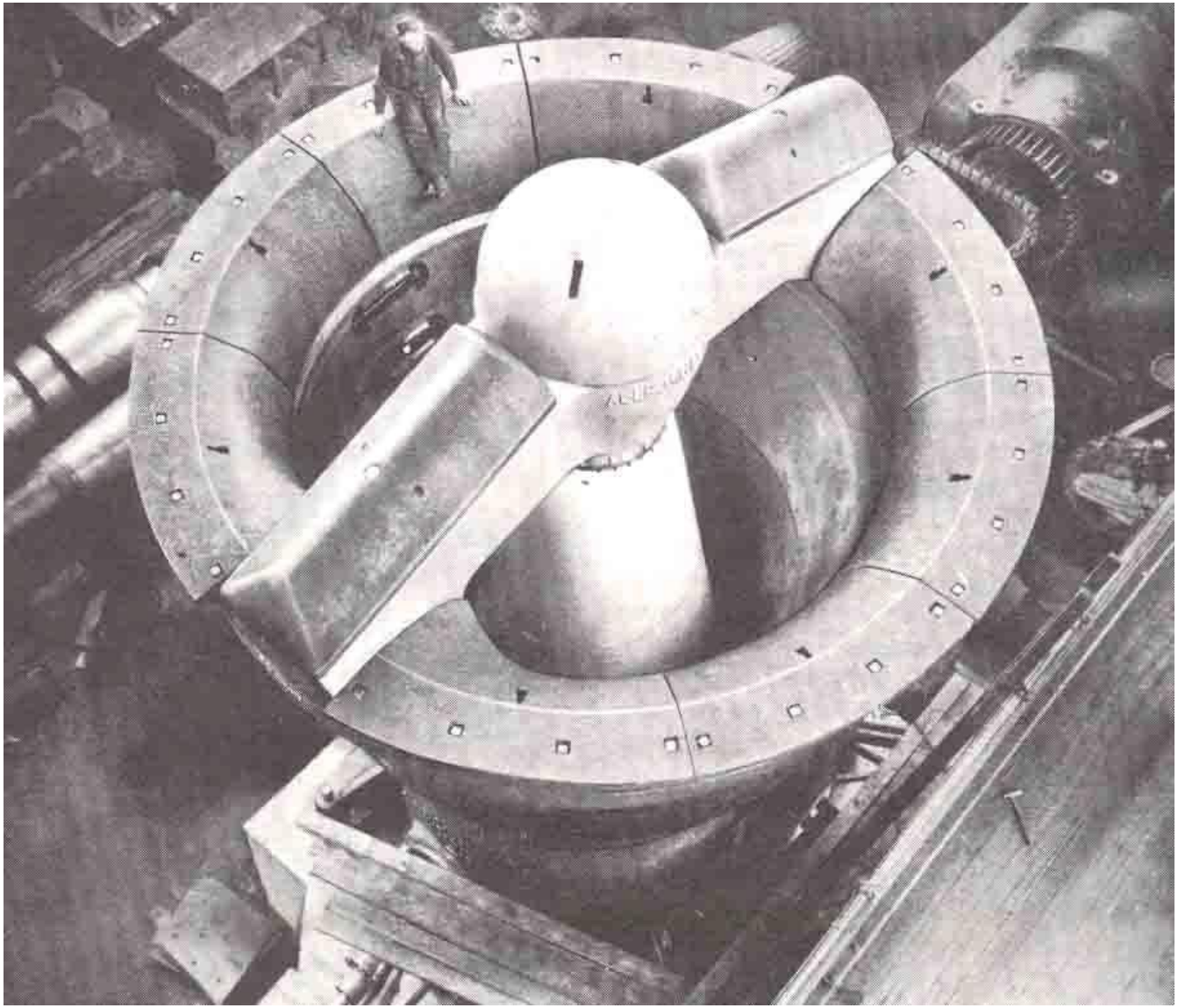


Fig. 10.—Gates Gyratory Breaker (Allis-Chalmers)

(Figura 2) Primeros modelos tipo Gates (1881)



(Figura 3) Giratoria tipo Gates - Allis-Chalmers

Primeros Comienzos de las Giratorias Primarias

Giratorias Primarias tipo Gates. Algo de Historia:

- **La primera venta de una giratoria Gates se anticipó a la fecha de la patente (1881) en varios meses cuando una trituradora No. 2 fue vendida a la Buffalo Cement Company (New York) en 1880. Esta venta fue el inicio de la venta y envío de miles de equipos Gates hacia todos los rincones del planeta.**

- **Por aquellas fechas los equipos de trituración Blake y Gates presentaban una importante rivalidad.**

- **En 1883, en la localidad de Meriden (Connecticut, EEUU), se organizó una curiosa competición entre una trituradora Blake y una Gates. Esta prueba consistió en conocer el equipo más rápido en triturar 7 m^3 de roca. La trituradora Gates lo cumplió en 20.5 minutos y la trituradora Blake en 64.5 minutos.**

- **Tanto las trituradoras Blake como las Gates, son actualmente equipos altamente demandados como máquinas de trituración primaria en grandes explotaciones mineras. Su diseño a cambiado poco desde sus orígenes.**

Primeros Comienzos de las Giratorias Primarias

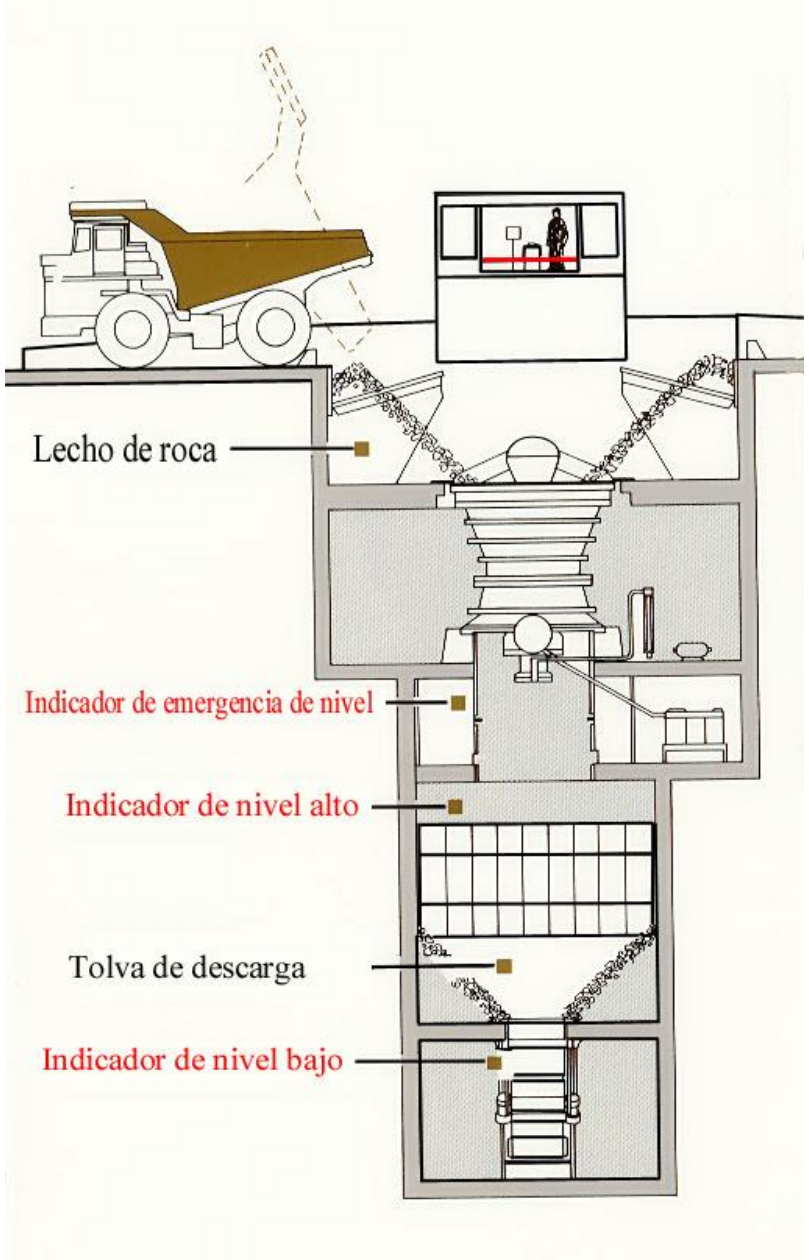
Giratorias Primarias tipo Gates. Algo de Historia:

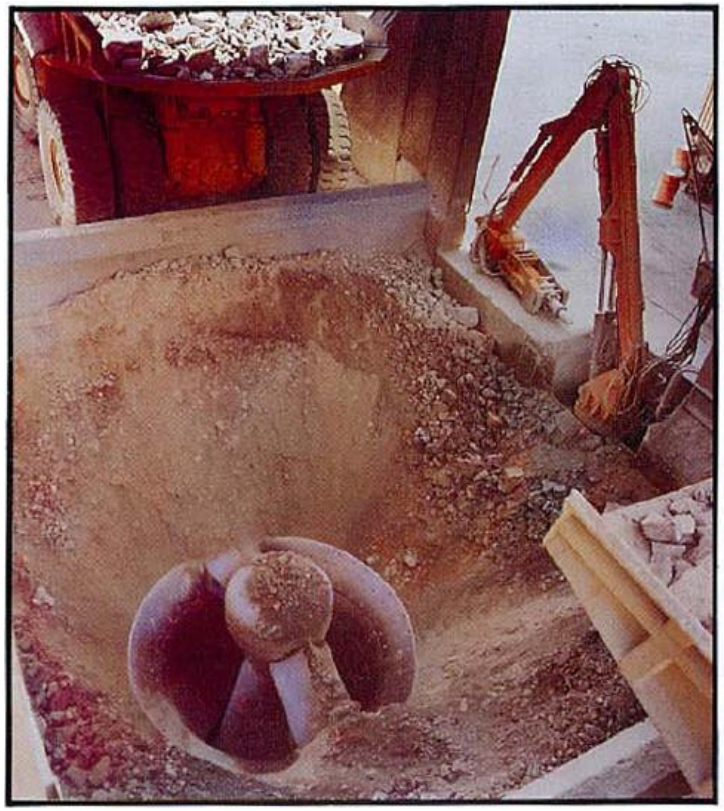
- **Las giratorias Gates, se convirtieron en equipos muy demandados a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX.**

- **La tendencia que entonces existía a la hora de incrementar la capacidad de trituración, según la demanda aumentaba, era la de duplicar pequeñas unidades de trituración.**

- **Así por ejemplo, en 1915 en la importante mina de oro de Homestake en South Dakota (EEUU) había 22 equipos giratorios Gates para preparar el mineral que debía ser enviado a las baterías de bocartes o pilones. Estas baterías estaban formadas por 2500 bocartes!! (ver Capítulo 2).**

- **El importante desarrollo posterior de los equipos giratorios Gates tuvo su principal impacto sobre las grandes operaciones mineras. Así las excavadoras de cables podían cargar directamente el mineral volado por dinamita sobre vagones (movidos por locomotoras de vapor) y éstos eran descargados directamente sobre equipos giratorios primarios. En grandes trabajos de ingeniería civil sucedía algo similar como la construcción del Canal de Panamá (Figura 4).**





(Figura 4) En la actualidad. Etapa primaria con equipo de trituración giratorio.

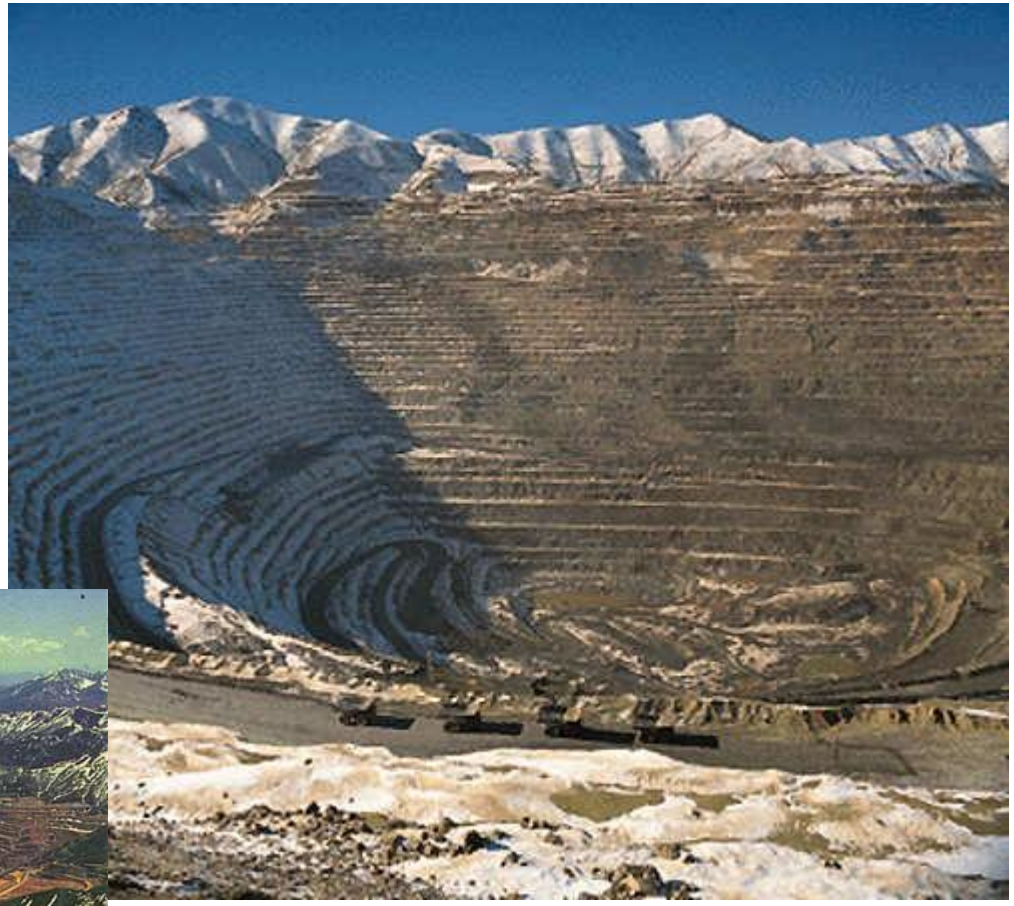
Primeros Comienzos de las Giratorias Primarias

Giratorias Primarias tipo Gates. Algo de Historia:

- **Ejemplos de grandes explotaciones mineras que se beneficiaron de la incorporación de equipos primarios giratorios Gates para descargar directamente los vagones de mineral con menores tiempos muertos fueron:**

- **La mina de cobre Bingham Canyon (Utah, EEUU) (ver Figura 5).**

- **La mina de hierro Hull Russ (Hibbing, Minnesota, EEUU).**



(Figura 5) Copper's Bingham Canyon mine, en la actualidad (considerada la mayor explotación a cielo abierto).

Trituradoras Giratorias Primarias

Principio de funcionamiento:

- **Los minerales son triturados por medio de esfuerzos de compresión producidos entre dos paredes troncocónicas.**
- **Una de estas paredes es fija y cóncava (ver figura) siendo la otra con forma de tronco de cono y animada con un movimiento excéntrico.**
- **El movimiento excéntrico permite que el cono móvil se acerque al cóncavo, favoreciendo las acciones de trituración de los fragmentos atrapados entre ambas paredes, y el alejamiento del cono móvil del cóncavo, haciendo que los fragmentos triturados caigan por gravedad a un nivel inferior.**
- **La velocidad de rotación normalmente se encuentra entre 85 y 150 rpm.**
- **Este descenso por etapas del mineral permite a la giratoria de llevar a cabo nuevas acciones de trituración sobre él consiguiendo que el mineral alcance la salida inferior con el tamaño adecuado.**

Principio de funcionamiento:

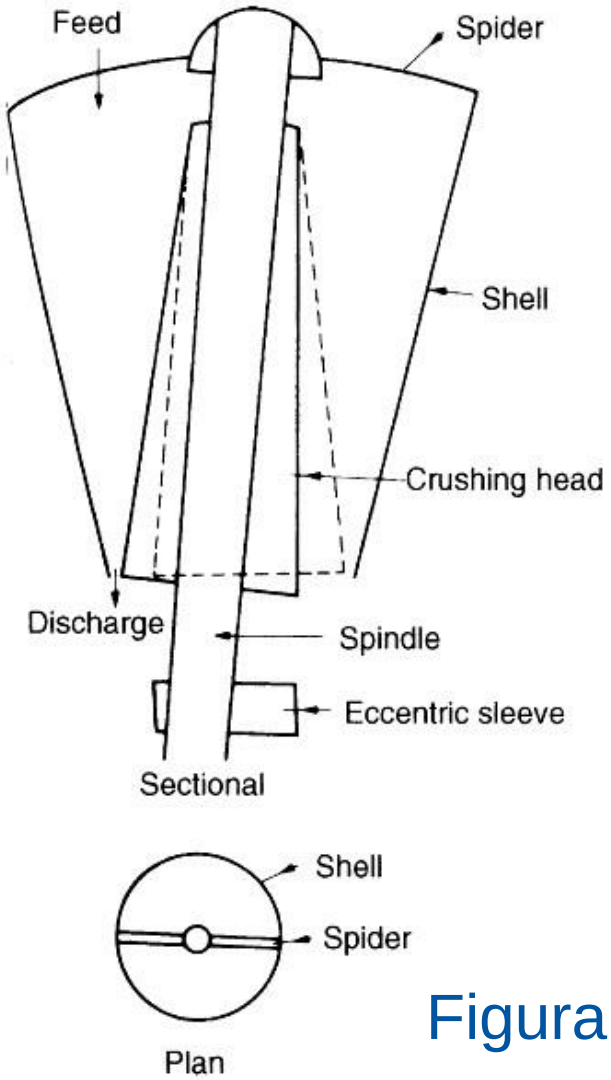
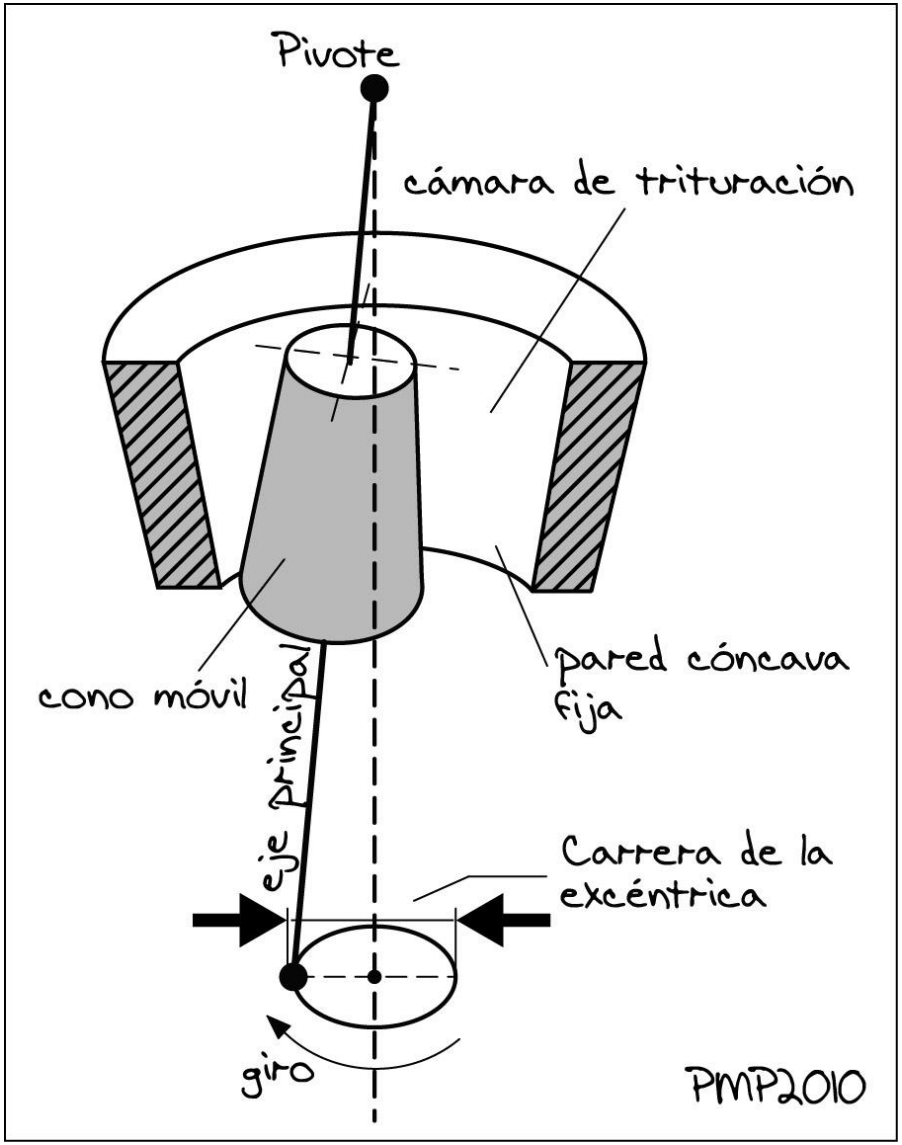


Figura 6



Elementos principales del equipo:

- **Esto equipos estarán constituidos por una parte mecánica fija (sin ningún tipo de movimiento) y otra parte mecánica móvil animada de movimiento giratorio.**

- **A la parte mecánica fija se le denomina bastidor o carcasa y está compuesta por varias piezas fabricadas en acero fundido resistente al impacto, que son ensambladas mediante tornillos (Figura 9).**

- **El bastidor superior o cuba (E), forma el espacio anular donde se producen los fenómenos de fragmentación (C). La cara interna de la cuba estará revestida por placas antidesgaste denominadas cóncavos (1), fabricadas de acero al manganeso.**

- **En la parte superior de la cuba descansa el anillo que describe la boca de alimentación y sobre el que descansa la brida constituida, normalmente, por dos brazos o patas de araña (3) dando lugar al crucero (Figura 10).**

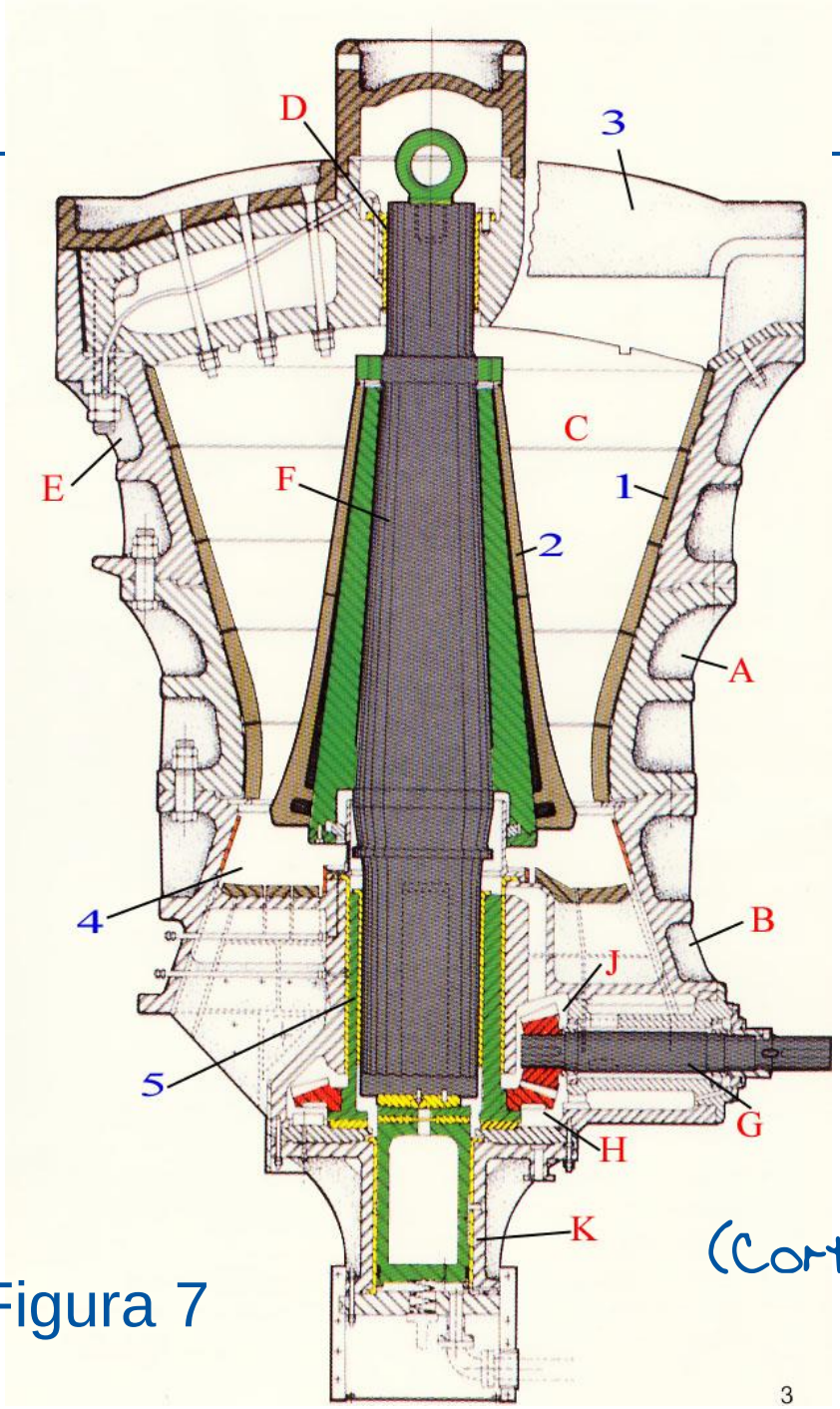
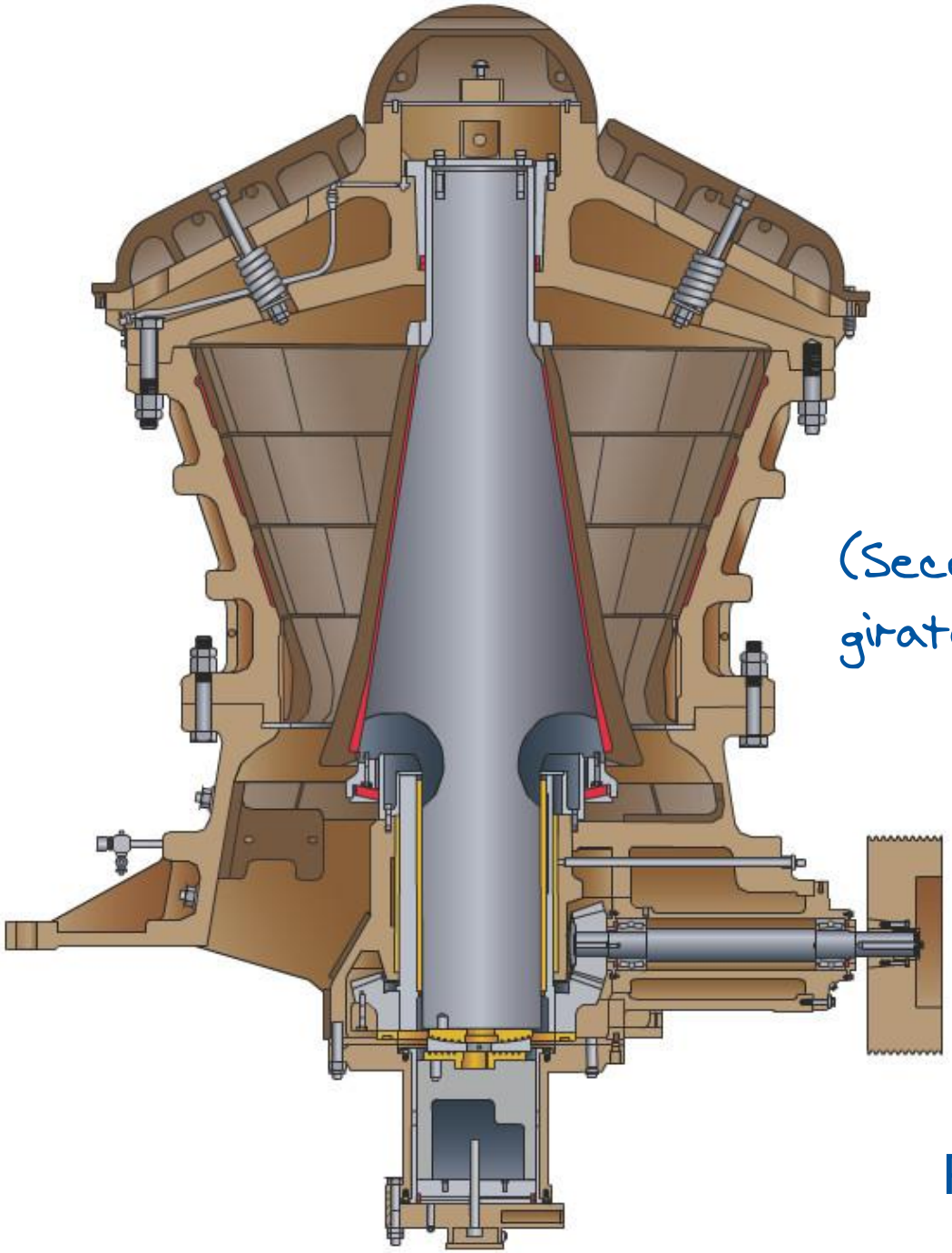


Figura 7

Sección de una giratoria primaria

(Cortesía Fuller-Traylor)



(Sección esquemática de una giratoria primaria)

Figura 8

Pieza superior (izquierda) e inferior (derecha) del bastidor de una giratoria

Figura 9

(Equipo Allis-Chalmers)

Anillo superior y elementos del crucero (observar las protecciones sobre las patas de araña)

Figura 10

(Equipo Allis-Chalmers)

Elementos principales del equipo:

- **En el espacio central del crucero se encuentra el apoyo fijo o pivote (D) del eje principal (Figura 10).**

- **El eje principal o nuez (F) constituye el elemento de trituración móvil (Figura 11). Esta pieza clave en la giratoria está forjada de una sola pieza pivotando de la parte superior por medio de cojinetes (Figura 12).**

- **Estos cojinetes están situados en la tuerca de suspensión que es la que soporta el peso del eje principal y permite realizar el reglaje de la máquina.**

- **Hay que destacar, que algún fabricante (Svedala – Metso Minerals) ha optado por situar el soporte del eje principal en la parte inferior, descansando en un pistón hidráulico (K) que sirve de control del reglaje.**

- **El eje principal también se puede presentar protegido con placas antidesgaste (2).**

Eje principal o nuez

Figura 11

(Allis-Chalmers)

Cojinetes esféricos superiores

Figura 12

(Cortesía de Sandvik)

Eje principal o nuez

Figura 13

(Allis-Chalmers)

Elementos principales del equipo:

- **En el bastidor inferior (B), se encontrarán los elementos mecánicos que sirven para proporcionar el accionamiento del eje principal.**

- **Estos elementos los forman el eje piñón (G) que transmite el giro a la corona dentada (H) (Figura 14), por medio del piñón (J) (Figura 15).**

- **El giro del eje piñón es generado por el movimiento de una polea motriz movida por medio de un motor eléctrico a través de correas trapezoidales.**

- **El movimiento giratorio hará girar excéntricamente al eje principal o nuez.**

Corona dentada

Figura 14

(Allis-Chalmers)

Piñón

Figura 15

(Allis-Chalmers)

Datos importantes sobre estos equipos:

- **Se debe evitar la descarga directa del mineral sobre el crucero o sobre el conjunto del eje principal. Para solucionar esto, se creará en la tolva de alimentación un lecho de roca (ver Figura 4).**

- **La razón de reducción de estos equipos es de 6:1, dando un producto con una diámetro de hasta 150 mm.**

- **Estas trituradoras pueden alcanzar reglajes de 1830 mm y triturar hasta tamaños máximos de 1370 mm a un ratio de 5000 tph con un tamaño de salida de 200 mm (750 kW de consumo eléctrico).**

- **Actualmente, los fabricantes de estos equipos, ofrecen trituradoras giratorias de grandes tamaños (7 metros de diámetro y 800 toneladas de peso) para alcanzar grandes producciones de fragmentación en las grandes explotaciones mineras (Figuras 16 a 19).**

- **En minas con ratios de producción en la primera etapa superiores 900 tph seleccionarán la trituradora giratoria.**

- **Estos equipos pueden trabajar satisfactoriamente con la cabeza cubierta por la alimentación. Aunque los finos deberían ser "escalpados" previamente empleando grizzlies**

Figura 16

Boca de alimentación de una trituradora giratoria primaria

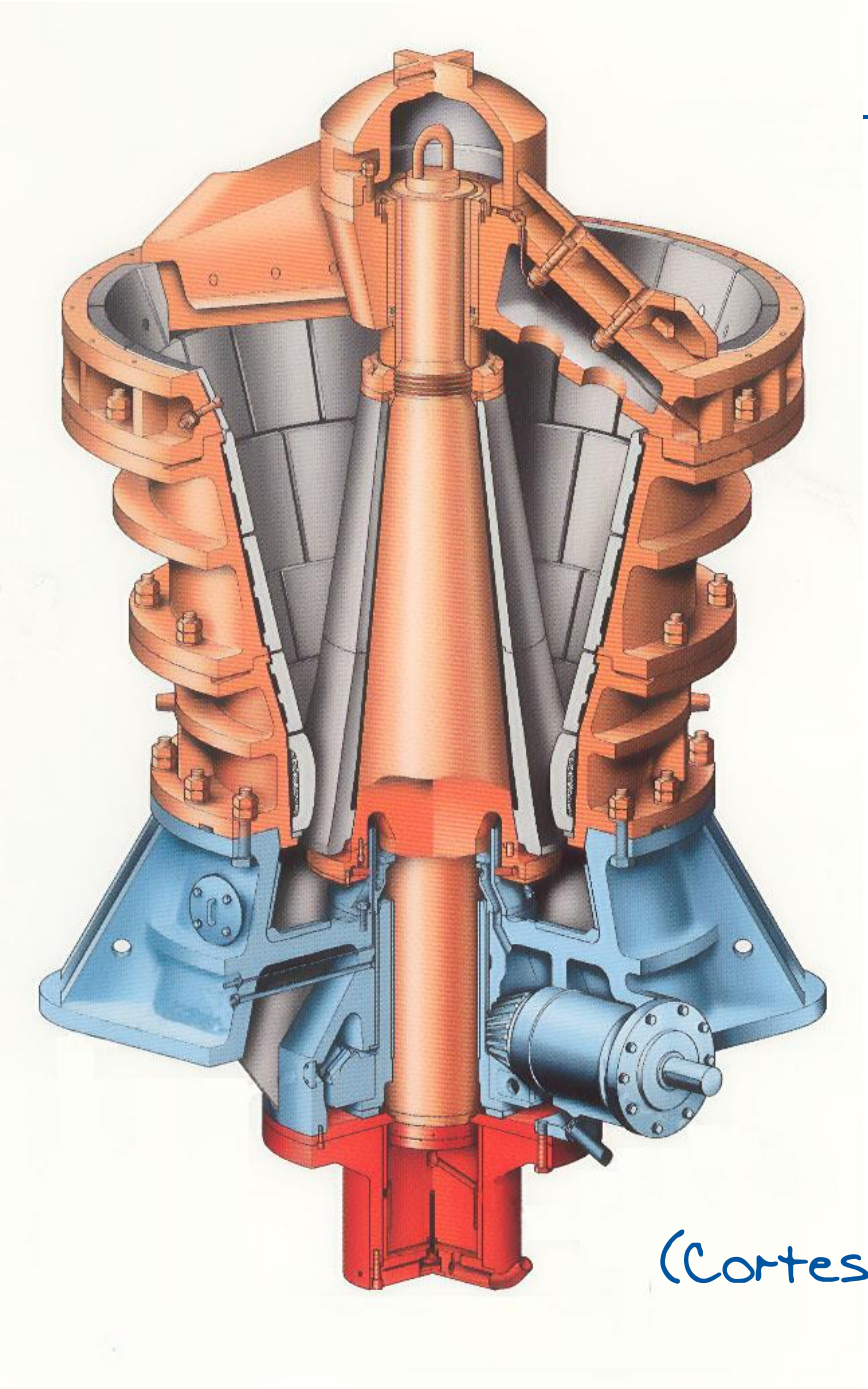


Figura 17

(Cortesía de Krupp Fördertechnik)

Figura 18

(Cortesía de Sandvik)

Figura 19

(Cortesía de FLS Minerals)

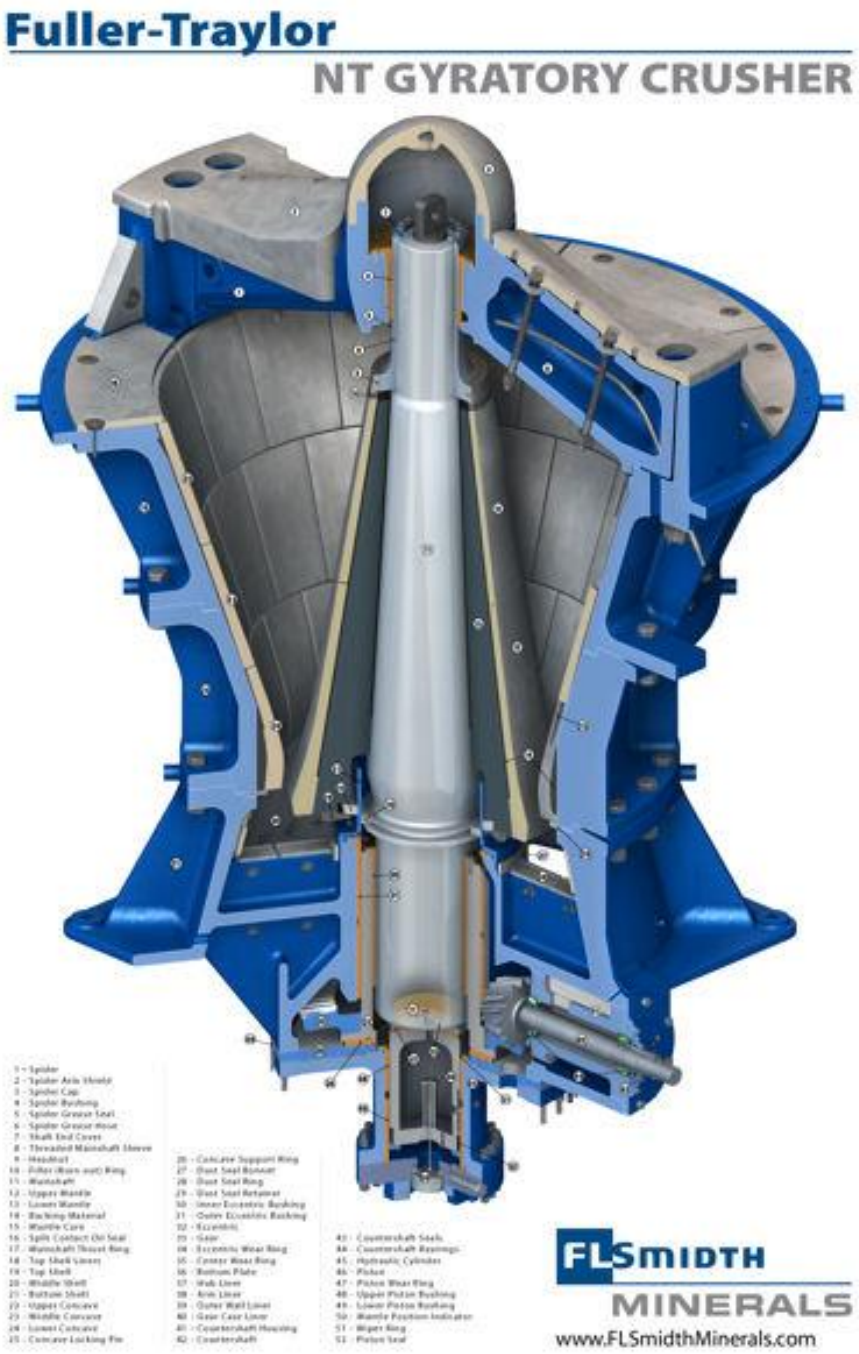


Figura 20

(Cortesía de FLS Minerals)

Figura 21

Vertido de mineral sobre una giratoria primaria

Trituradoras Giratorias Secundarias y Terciarias

Especificaciones técnicas de estos equipos (1)

- **La giratorias secundarias son equipos que ocupan etapas secundarias ya que reciben el producto generado por una trituradora primaria (mandíbulas o giratorias).**

- **Las giratorias terciarias, son aquellos equipos que fragmentarán aquel mineral procedente de una etapa secundaria (p.e.: giratorias secundarias).**

- **Tienen diseños muy similares a las trituradoras giratorias primarias (disponen de crucero y punto de apoyo superior).**

- **Las primeras trituradoras giratorias secundarias surgen ante la necesidad de triturar el producto generado por las grandes giratorias primarias de principios del siglo XX (grandes aberturas de reglaje).**

- **Los primeros desarrollos de estos equipos fueron simplemente una reducción de escala de las giratorias primarias, aunque los primeros modelos tenían el inconveniente de una fácil tendencia a "ahogarse" y su productividad era baja.**

Especificaciones técnicas de estos equipos (2)

- **El creciente interés en la fabricación de árido para la fabricación de hormigón llevó a la necesidad de disponer equipos de trituración que produjeran un tamaño de material más fino (arenas, gravas, etc.).**

- **Así, como dato histórico, mencionar que una de las primeras plantas de fabricación de áridos fue la Thorton (Illinois, EEUU) en 1913 que estaba formada por una trituradora giratoria de 1.2 m, cuatro giratorias secundarias de 178 mm de abertura de alimentación y 16 giratorias terciarias para la obtención de un producto terminado.**

- **A finales de la década de los 20, varias empresas de ingeniería de equipos de trituración comienzan a modificar el diseño original basado en la giratorias primarias y comienzan a fabricar los equipos de trituración secundaria y terciaria tal y como los conocemos actualmente: McCully, Allis-Chalmers y Nordberg.**

Especificaciones técnicas de estos equipos (3)

- **La abertura de admisión está comprendida entre 400 y 800 mm.**
- **La abertura de la boca de admisión suele ser de 2 a 2.5 veces el tamaño del reglaje del equipo anterior.**
- **El tamaño del producto varía entre 40 y 150 mm.**
- **El ángulo del cono será igual o inferior a 75º, característica que cumplen los trituradores giratorios primarios, pero con un ángulo más pronunciado.**
- **El eje principal o cono móvil se puede presentar suspendido de la parte superior o apoyado en la parte inferior (de suspensión hidráulica), (p.e.: Hydrocones) (ver Figuras de 22 a 26).**
- **Son equipos que se ven afectados por materiales húmedos y con alto contenido de finos.**
- **Se pueden utilizar en canteras donde no interesa obtener grandes cantidades de finos.**

Figura 22

Hydrocone de Sandvik

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

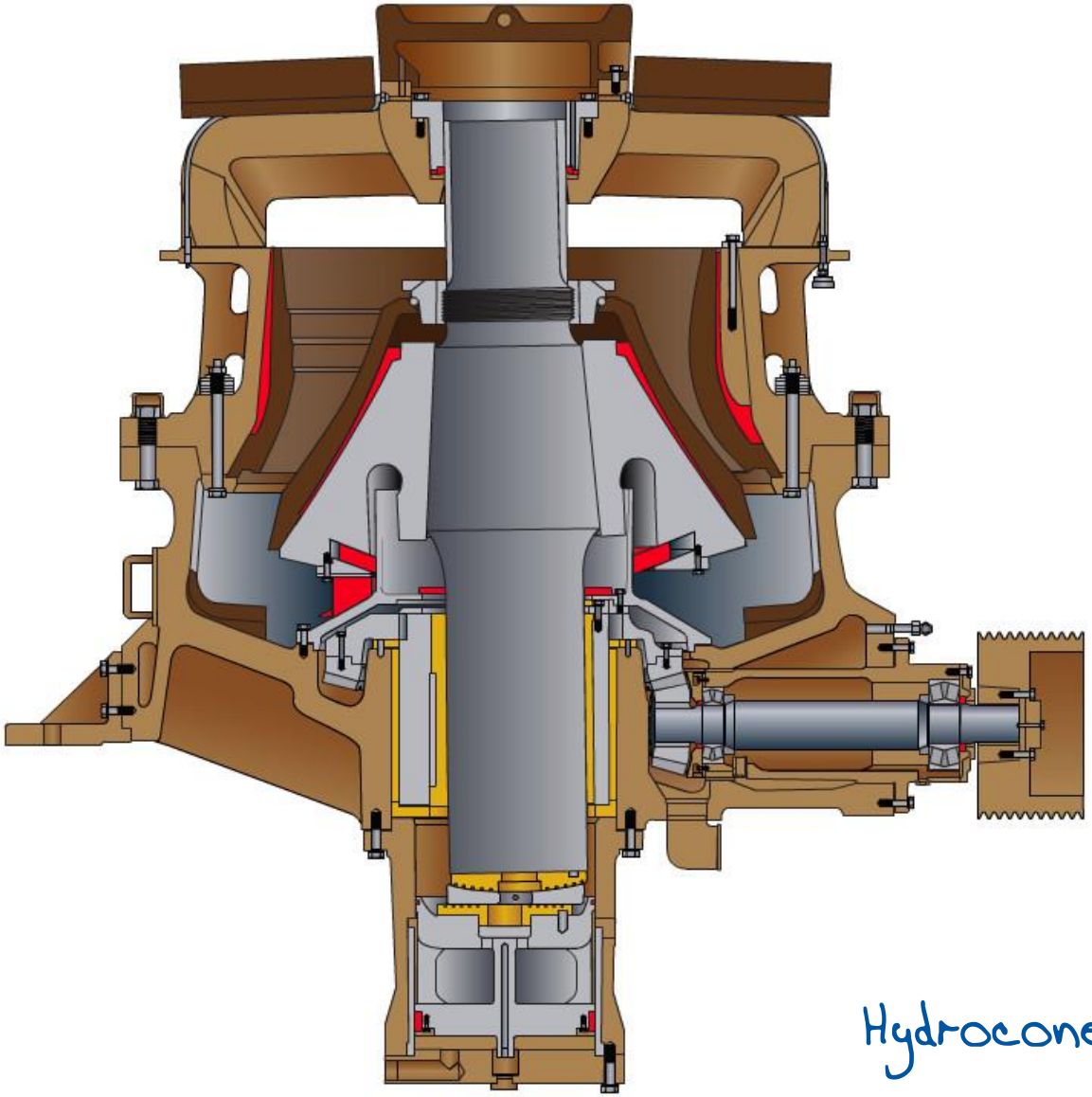


Figura 23

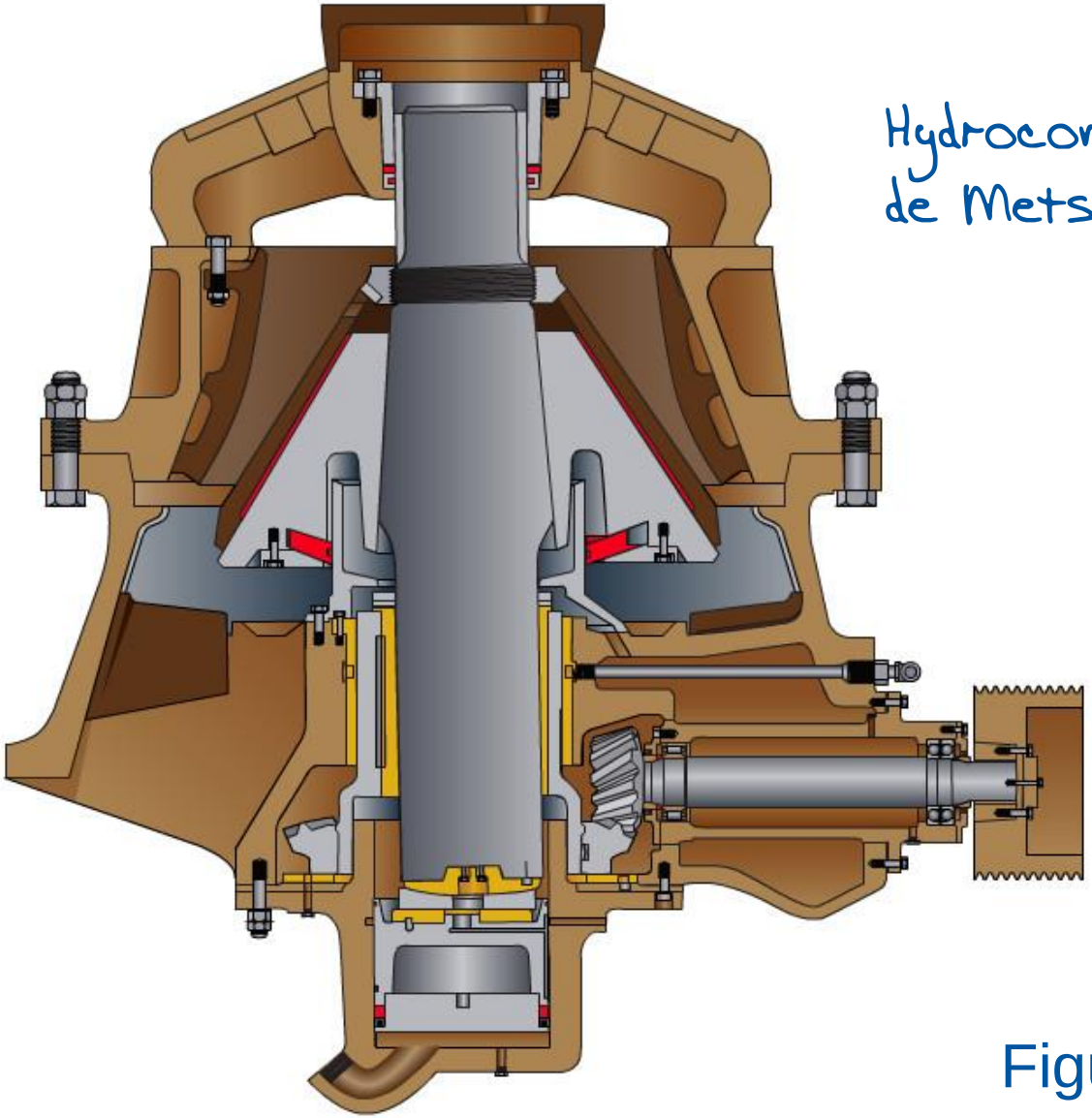
Hydrocone de Sandvik

Figura 24

Hydrocone de Sandvik

Figura 25

Instalación secundaria - Hydrocone de Sandvik

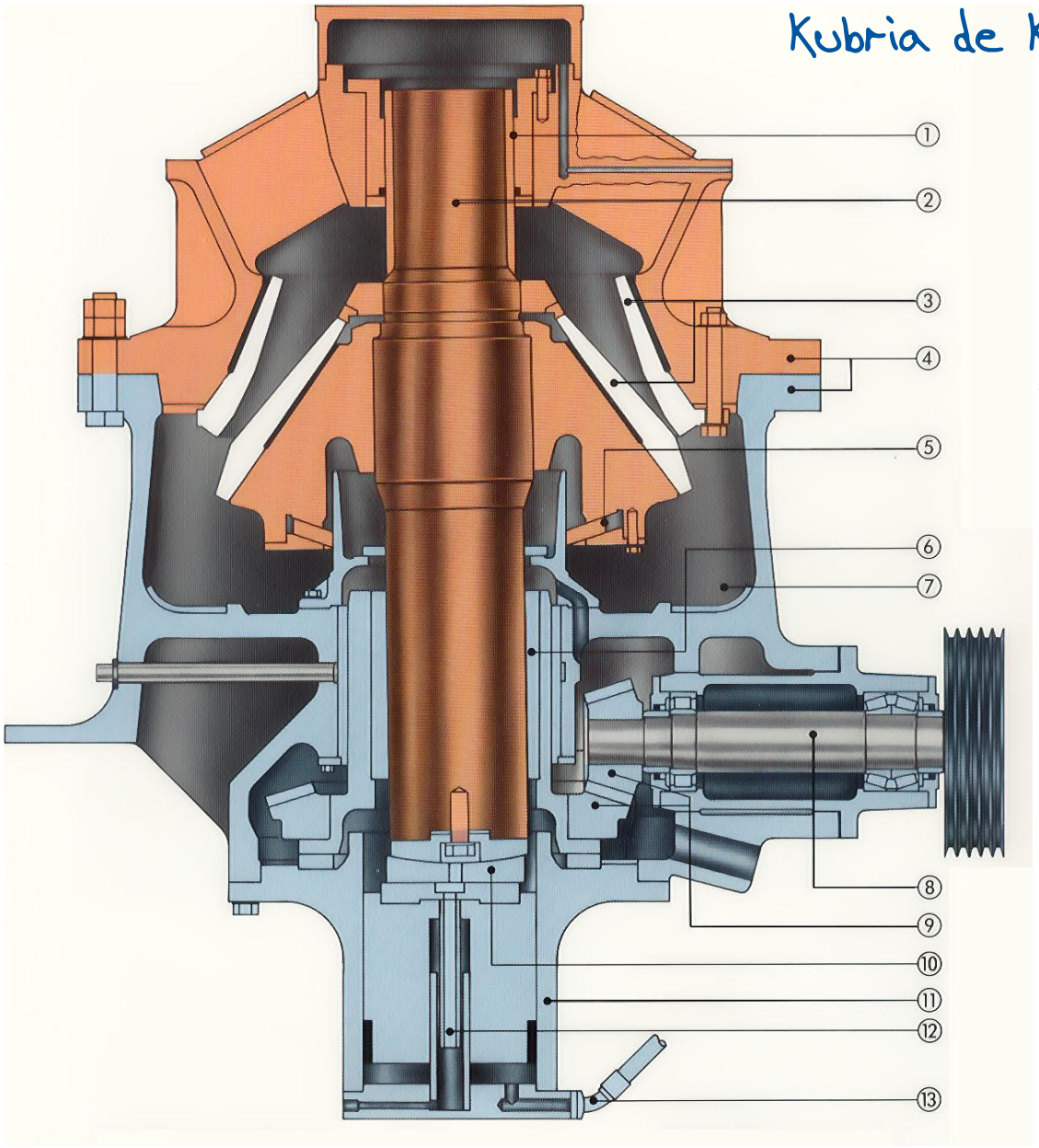


Hydrocone Allis-Chalmers de Metso Minerals

Figura 26

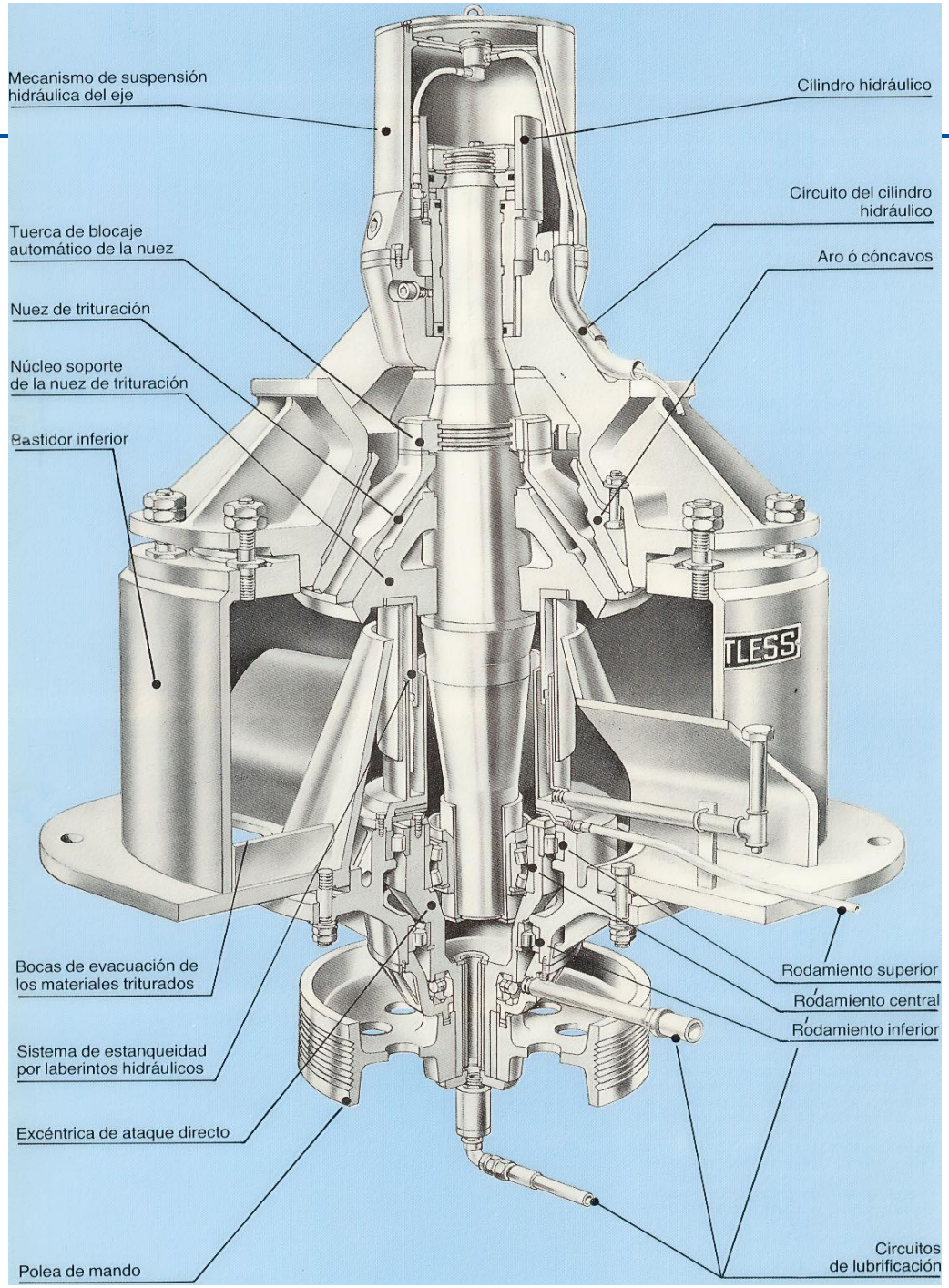
Diferencias de diseño con respecto a las giratorias primarias

- **Abertura de alimentación menor.**
- **Diseño de la cámara de trituración más tendida (ver Figura 29).**
- **Mayor carrera de la excéntrica.**
- **Elevada velocidad de giro del cono móvil (250 rpm).**
- **Equipos más ligeros ya que reciben un material procedente de la etapa primaria donde aquellos constituyentes dañinos (metales, maderas, arcillas, limos, etc.) ya han sido eliminado, además el tamaño máximo de alimentación será inferior a 150 mm.**
- **Los equipos de manejo y transporte del mineral (alimentadores, cintas, cribas, etc.) ya no son de fabricación tan robusta como en la etapa primaria (ver Figura 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).

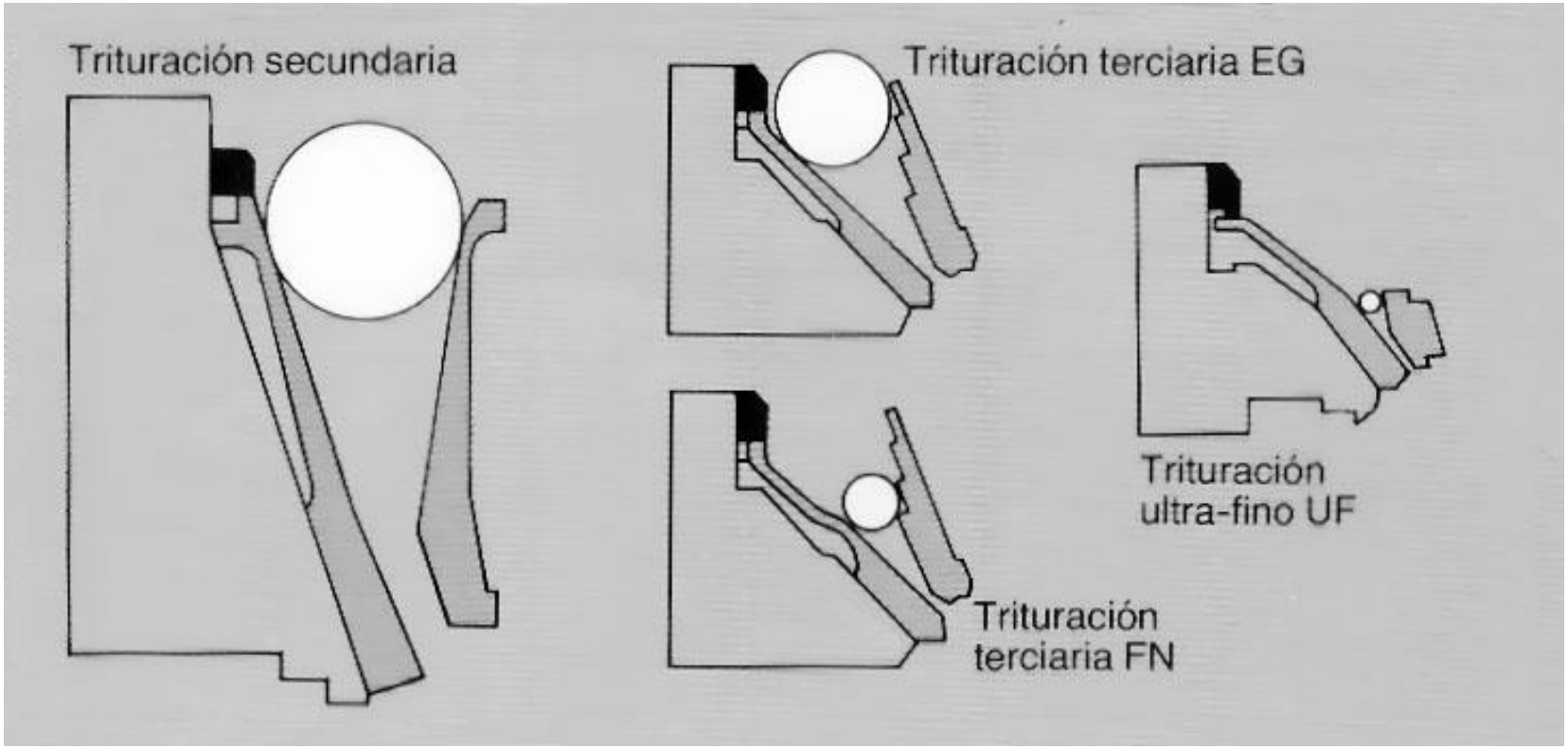
Figura 27



Cortesía de Babbitles

Triturador giratorio secundario con accionamiento en la parte inferior (polea motriz).

Figura 28



Diferencias en el diseño de las cámaras de trituración para las giratorias.

Figura 29

Eje principal de una giratoria secundaria.

Figura 30

Conos

Introducción

- **Los equipos giratorios secundarios presentan como elemento identificador un crucero en la parte superior; lo que obstaculiza una entrada totalmente libre al material.**

- **A partir de 1926 aparece el cono Symons para trituración secundaria sin el apoyo superior del eje principal. Esto marcó el inicio de una familia de trituradores conocidos como trituradores de cono, o simplemente conos, y que hoy en día están ampliamente extendidos.**

- **Como nota histórica, destacar que Will Symons, un ingeniero de Chicago, intentó inicialmente venderle la patente de su equipo a Allis-Chalmers, pero ésta rechazó la oferta porque estaba intentando consolidar el mercado para su nuevo equipo giratorio secundario (dos equipos nuevos coexistiendo juntos habría sido difícil de digerir para la empresa).**

- **La Nordberg Co. (Milwaukee, EEUU) compró la patente a Will Symons, y con el tiempo, el éxito de este tipo de conos provocó el hundimiento de las ventas de los trituradores secundarios de McCully y una reducción importante de las ventas de los trituradores para tamaños finos de Allis-Chalmers.**

Metso Minerals

Nombres de Marcas relacionadas en el Procesamiento de Rocas y Minerales

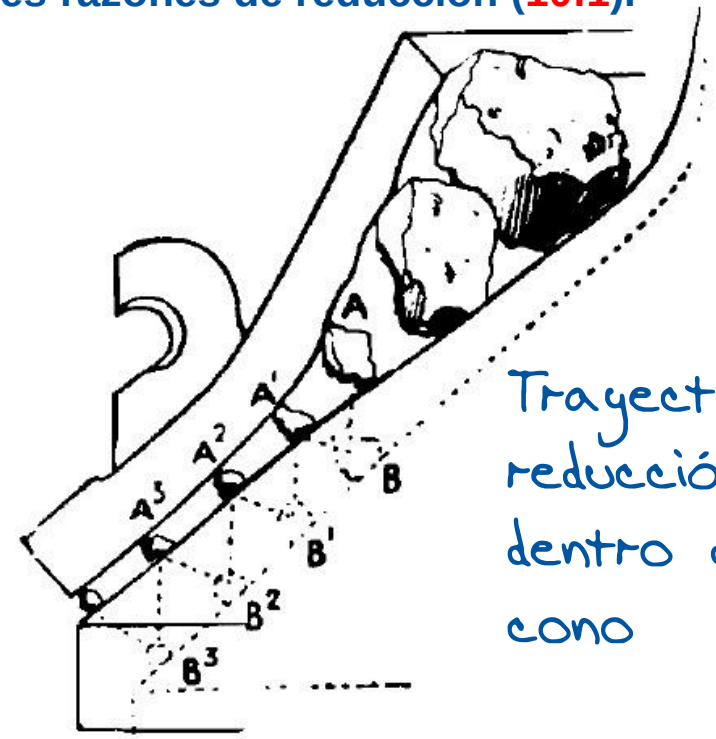
Allis Chalmers (AC)
Allis Minerals System
Altairac
Armstrong Holland
Barmac
Bergeaud
Boliden Allis
Cable Belt
Conrad Scholtz
Denver
Dominion
FASO
GFA
Hardinge
Hewitt Robins
Kennedy Van Saun KVS
Kue-ken Seco
Koppers
Lennings
Lokomo
Marcy
Masterscreens
McDowell Wellman
McNally Wellman
Neims
NICO
Nokia
Nolan
Nordberg
MPSI
Orion
PECO
Pyrotherm
Read
REDLER
Sala
Scamp
Skega
Stansteel
Stephens – Adamson
Strachan & Henshaw
Svedala
Thomas
Tidco
Trellex
Tyler

Principales suministradores de equipos de trituración y molienda agrupados en Metso Minerals

Datos técnicos de estos equipos (1)

- **Comparado con los equipos anteriores el triturador de cono se caracteriza por :**
  - **Una mayor velocidad de rotación.**
  - **Un diseño más chato (tendido) de la cámara de trituración, esto provoca mayores tiempos de residencia en la cámara dando mayores razones de reducción (10:1).**

Figura 31



Trayectoria seguida y reducción de una fragmento dentro de la cámara de un cono

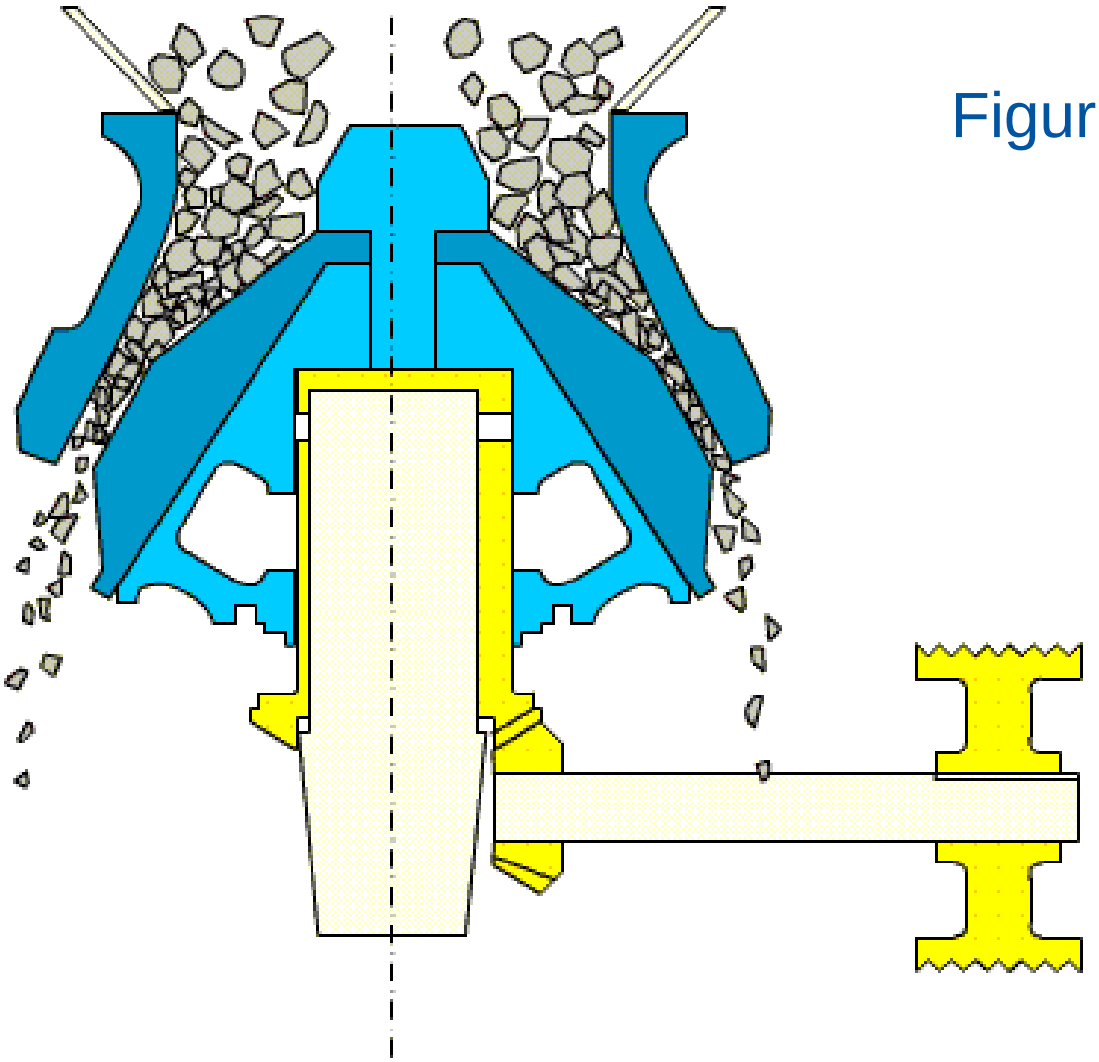


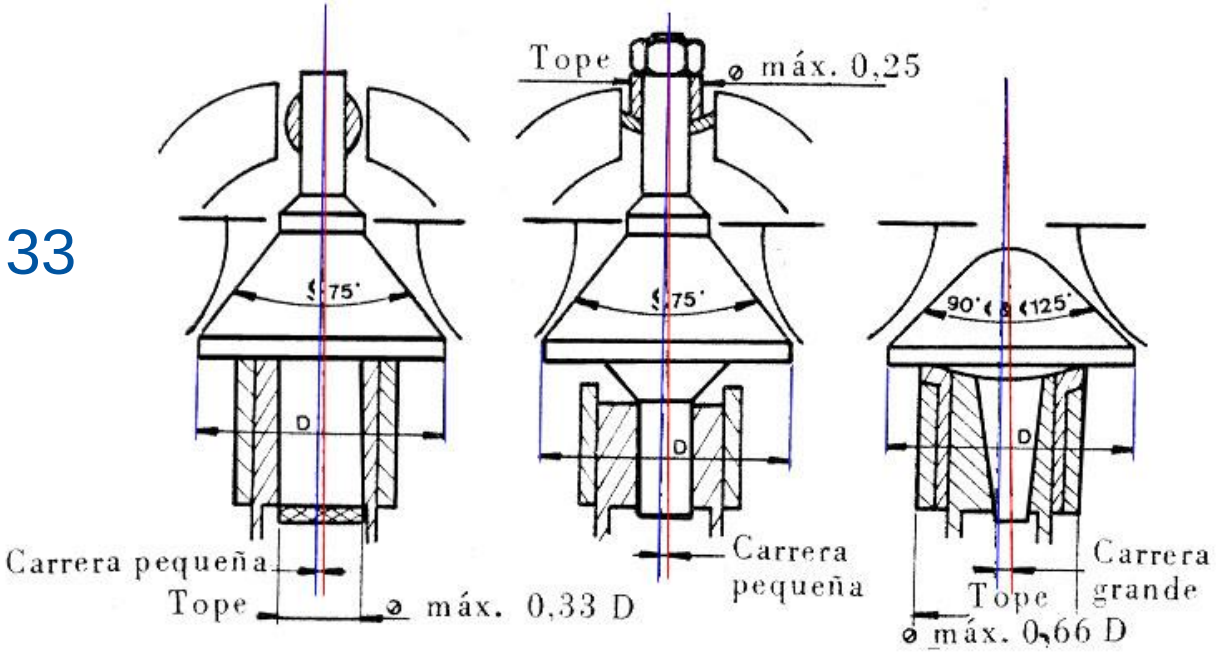
Figura 32

Simulación esquemática de la forma de trabajar un cono

Datos técnicos de estos equipos (2)

- **El ensanchamiento del tazón permite un ángulo de cono más abierto (90º - 125º) proporcionando una mayor capacidad de trituración frente a un giratorio secundario.**

Figura 33



Ángulos de nuez en giratorias secundarias y conos

Datos técnicos de estos equipos (3)

- **Los conos no descansan en ningún apoyo superior sino en cojinetes semi-esféricos a través del cuerpo tronco-cónico móvil (Figura 34) o sobre rodamientos (Figura 35).**

- **Los conos secundarios dan productos de tamaños comprendidos entre 150 mm y 40 mm.**

- **Los conos terciarios dan granulometrías comprendidas entre 40 mm y 10 mm, se les conoce como gravilladores.**

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

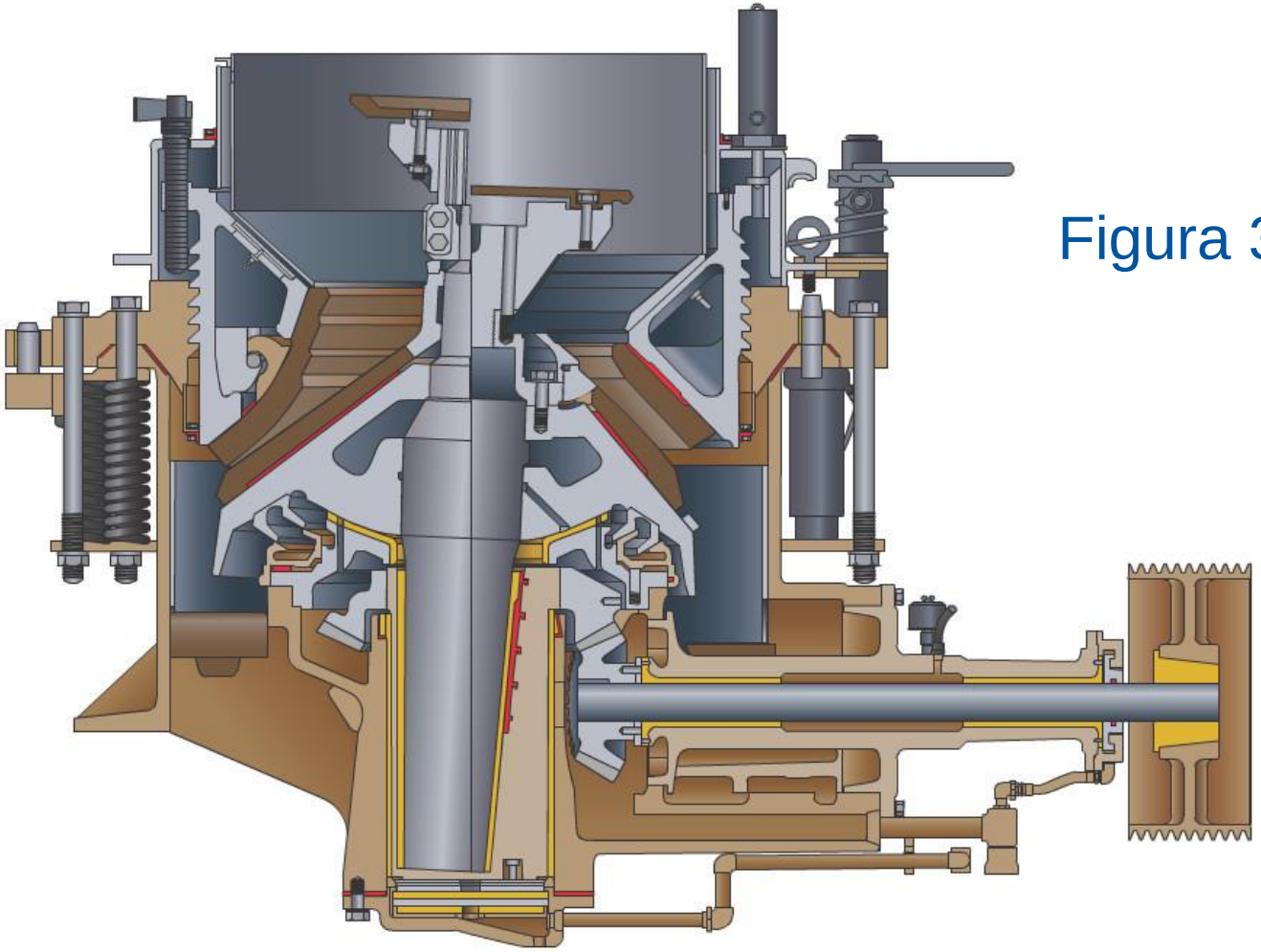


Figura 34

Cono Symons Estándar (mitad izquierda) y Cono Gyradisc (mitad derecha)

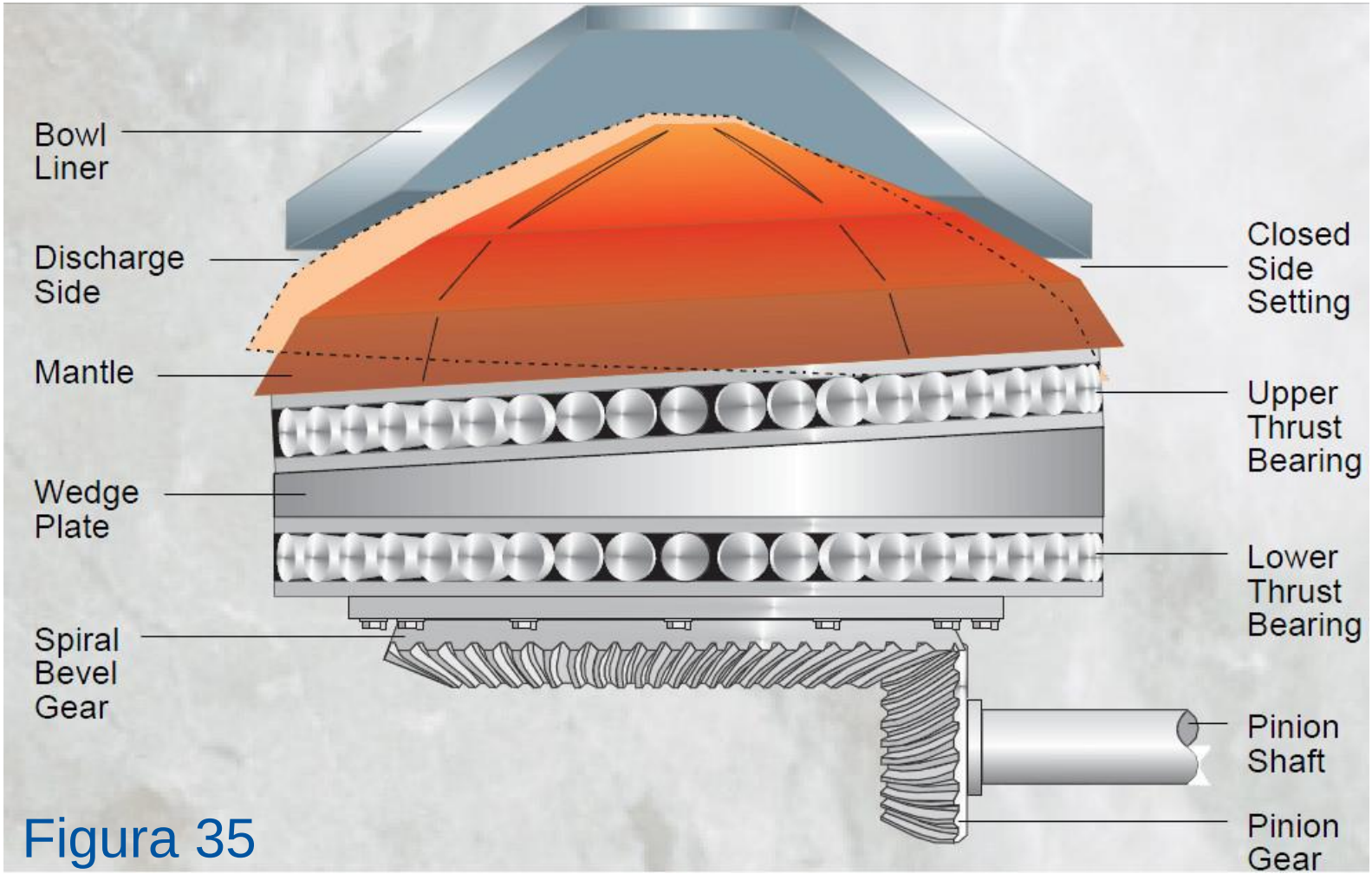


Figura 35

Cono apoyado sobre rodamientos tronco-cónicos (cono SBS de Telsmith)

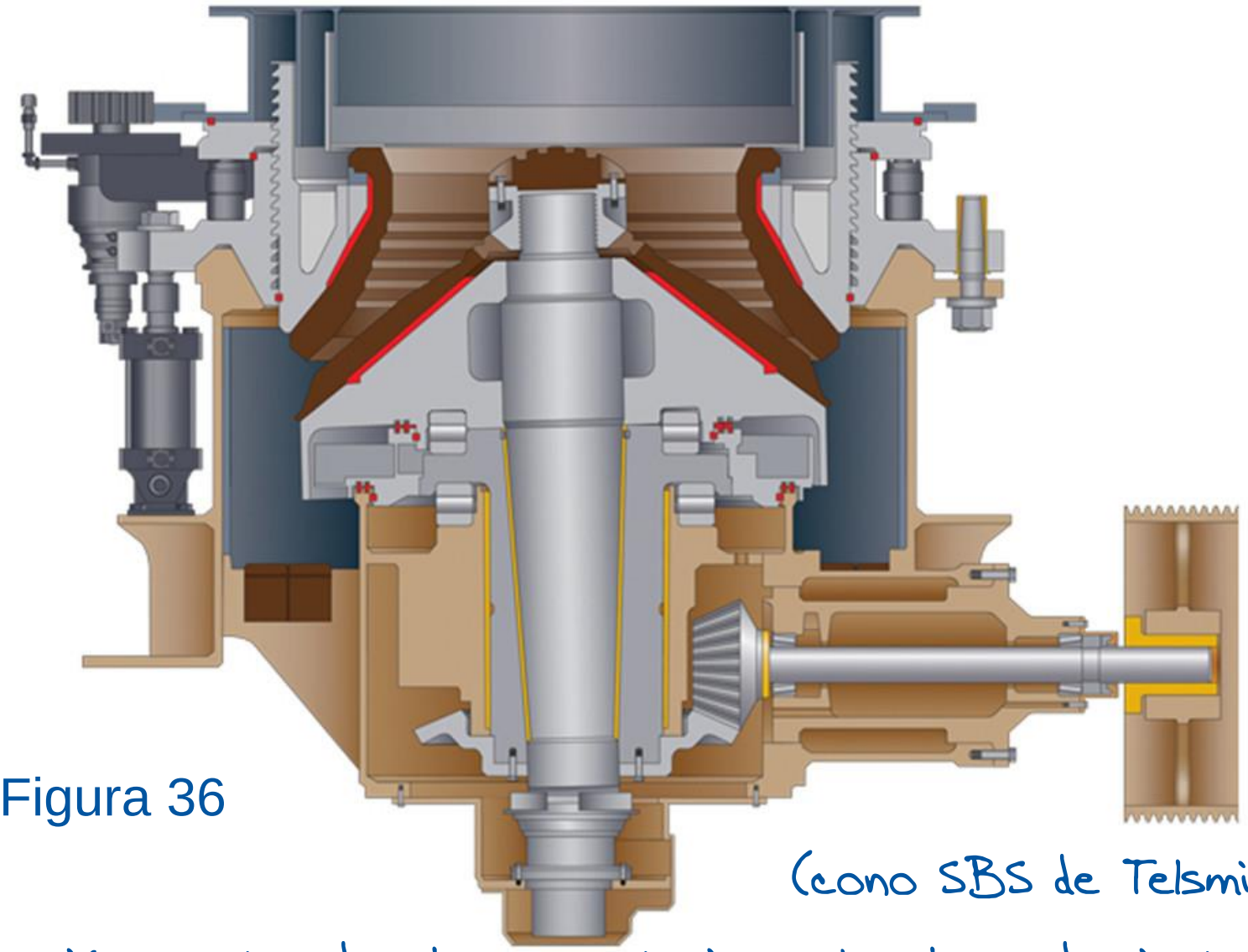


Figura 36

(cono SBS de Telsmith)

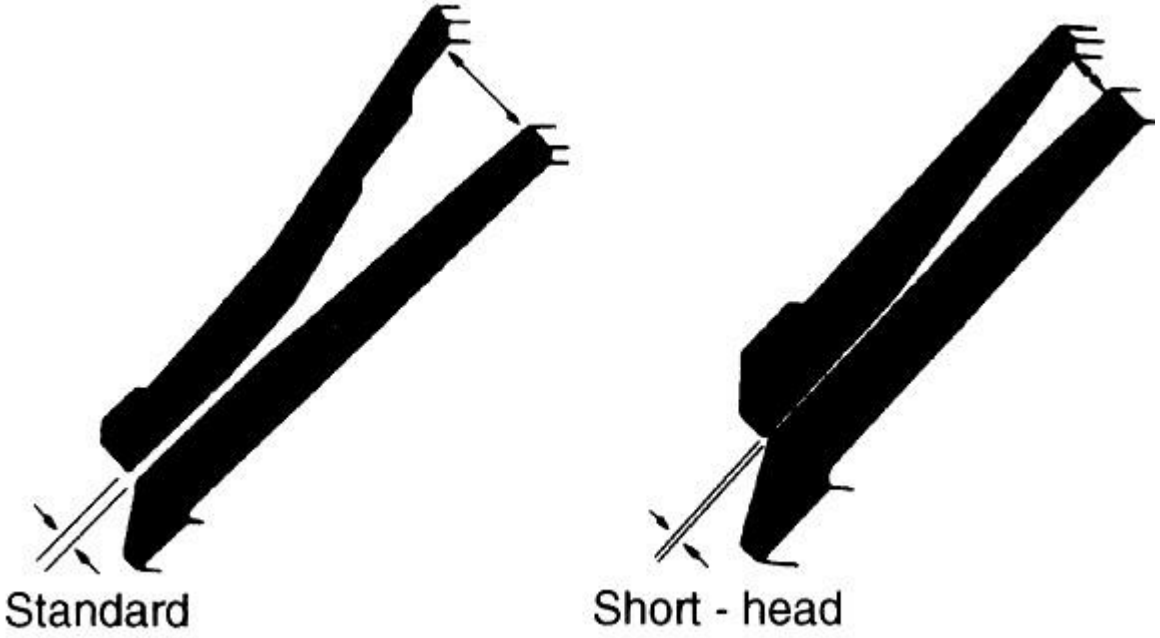
Sección mostrando el cono anterior sobre los rodamientos

El Cono tipo Symons (I)

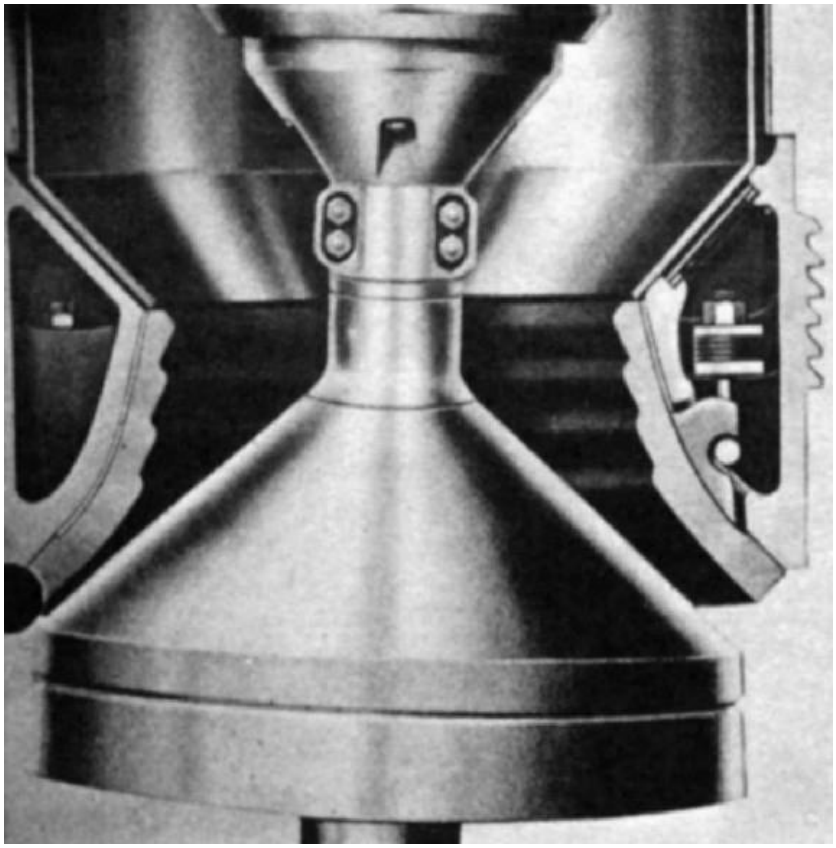
- **El cono Symons es el más extendido y se fabrica bajo dos modelos: el estándar, para trituración secundaria normal (<6 cm), y el de Cabeza Corta, para trituración terciaria o fina (0.3 – 2.0 cm).**

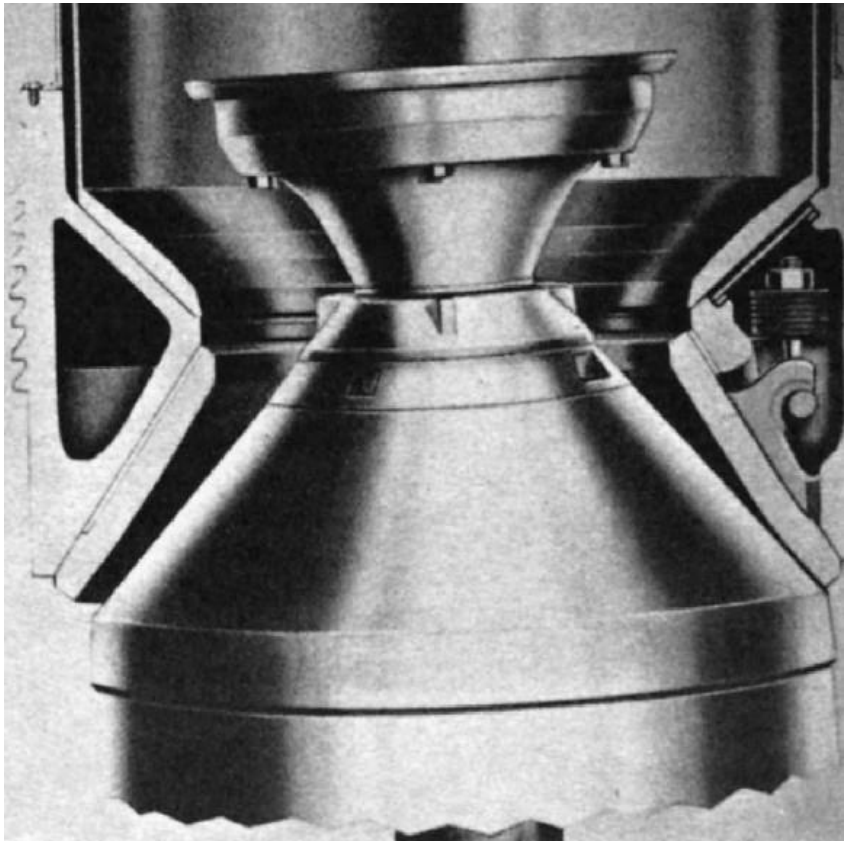
- **La diferencia entre los dos modelos radica en la forma de las cámaras de trituración.**

Figura 37



Tipos de cámaras de trituración





Cono Estándar (izquierda) y Cono de Cabeza Corta (derecha)

Figura 38

El Cono tipo Symons (2)

- **Lo que caracteriza a este tipo de conos es la sección paralela entre los revestimientos del tazón y del cono a la salida de la descarga, controlando el tamaño producido.**

- **Los equipos modernos, emplean sistemas hidráulicos para modificar el reglaje, de forma precisa, continua e incluso estando la máquina en carga.**

- **El reglaje se realiza gracias a la rotación que sufre la cuba, donde dependiendo del sentido del giro, ésta se elevará (incremento de la abertura de reglaje) o descenderá (disminución de la abertura de reglaje).**

- **Los fabricantes suelen facilitar el reglaje como la dimensión de la abertura de salida en posición cerrada (en inglés, "*closed side setting*").**

- **El plato superior de distribución facilita la distribución uniforme del material a toda la cámara de trituración.**

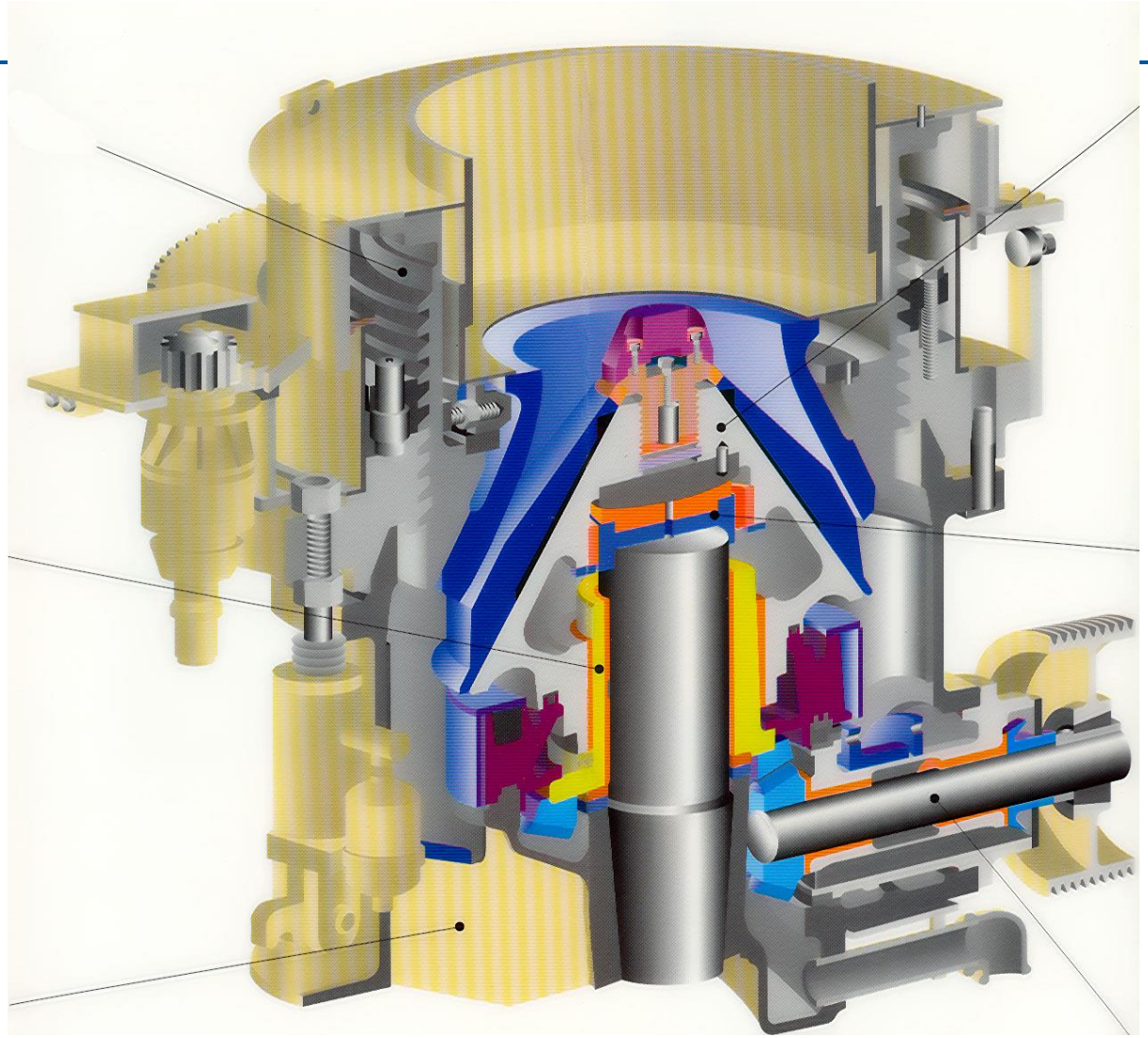


Figura 39

Cono HP SX derivado del cono Symons (cortesía de Nordberg)

Nota: Actualmente Nordberg pertenece a Metso Minerals

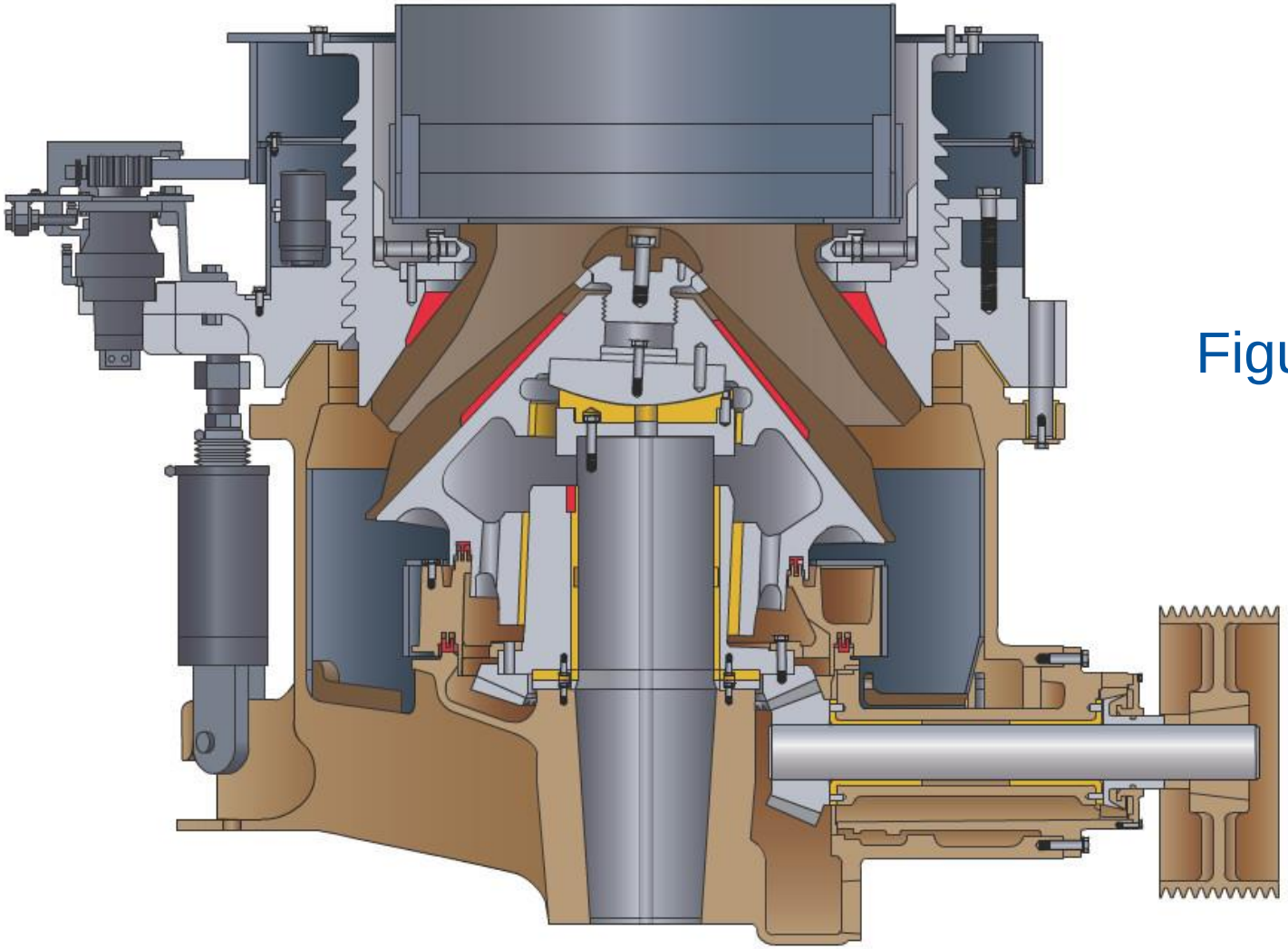


Figura 40

Cono HP SX derivado del cono Symons (cortesía de Nordberg)

Nota: Actualmente Nordberg pertenece a Metso Minerals

Otros Conos

- **Actualmente son numerosos los fabricantes que han llevado a cabo variaciones sobre el diseño inicial del cono Symons. A continuación se destacan los nombres de los conos más conocidos:**

  - **Cono SBS de Telsmith (Figura 36).**
  - **Calibrator H III de Humboldt Wedag (Figura 45).**
  - **Rollercone de Cedarapids (Figura 41).**
  - **Omnicone de Nordberg (Figura 44).**

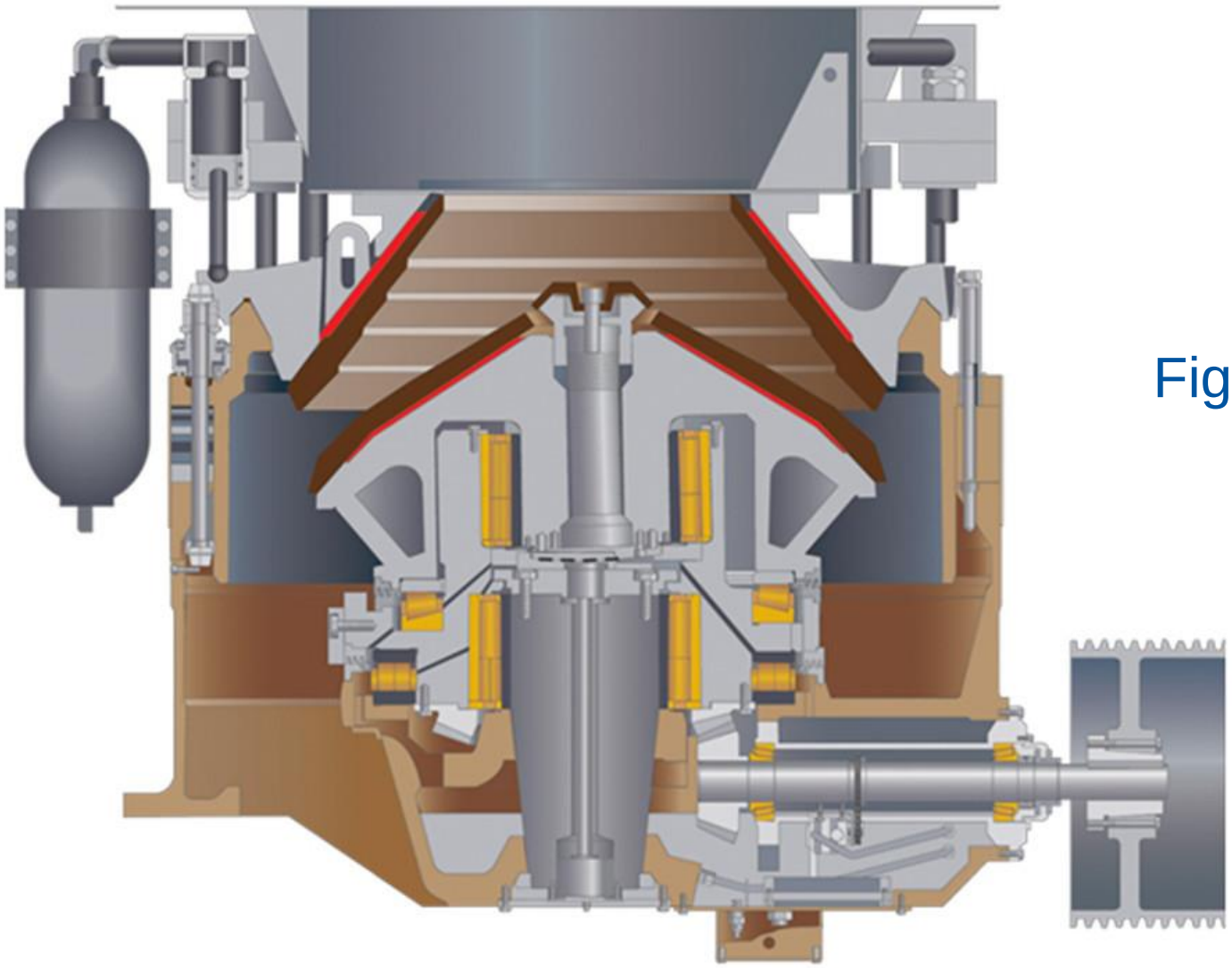


Figura 41

Rollercone (cortesía de Cedarapids)

Figura 42

Rollercone (cortesía de Cedarapids)

Figura 43

Batería de Rollercones (cortesía de Cedarapids)

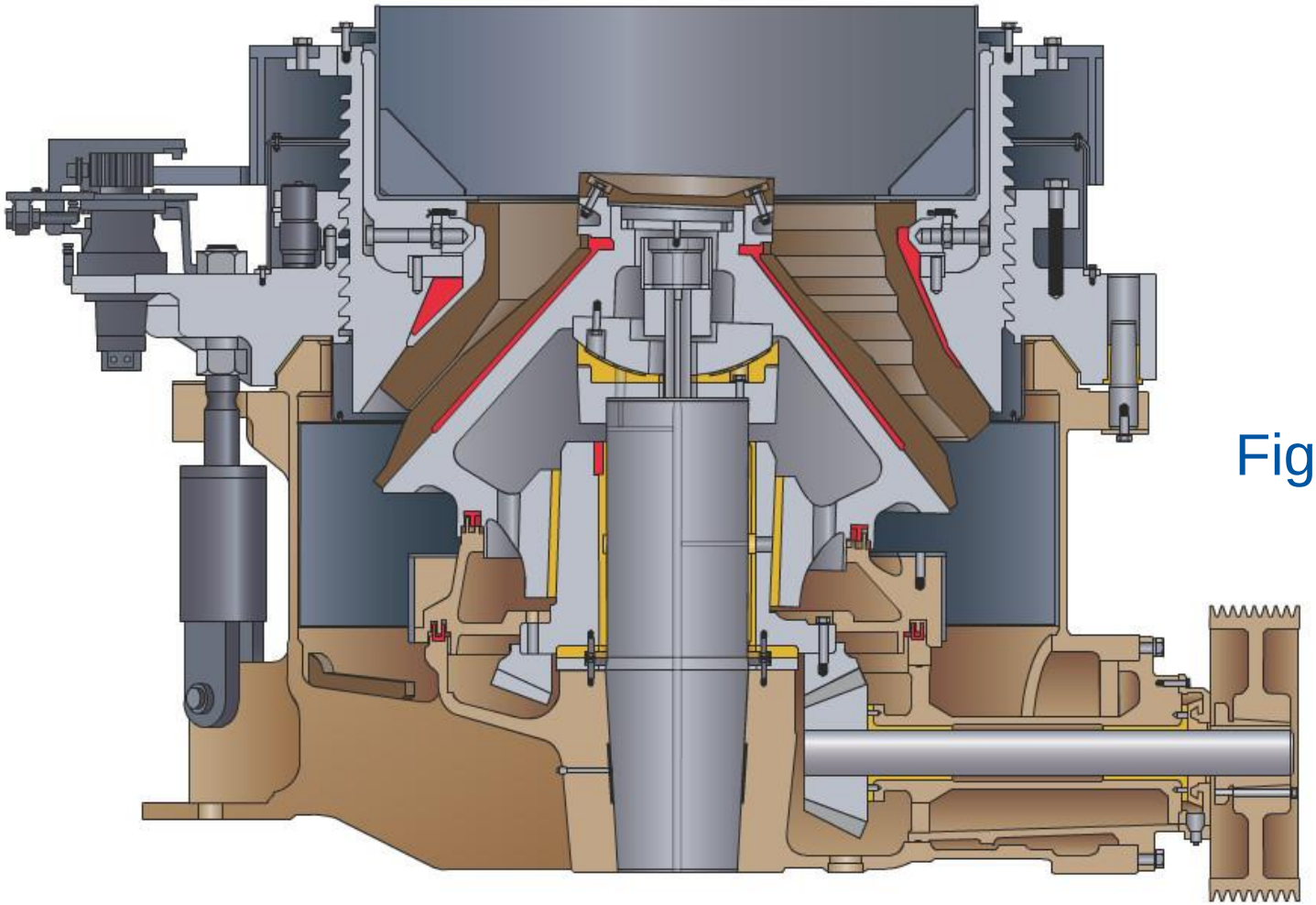
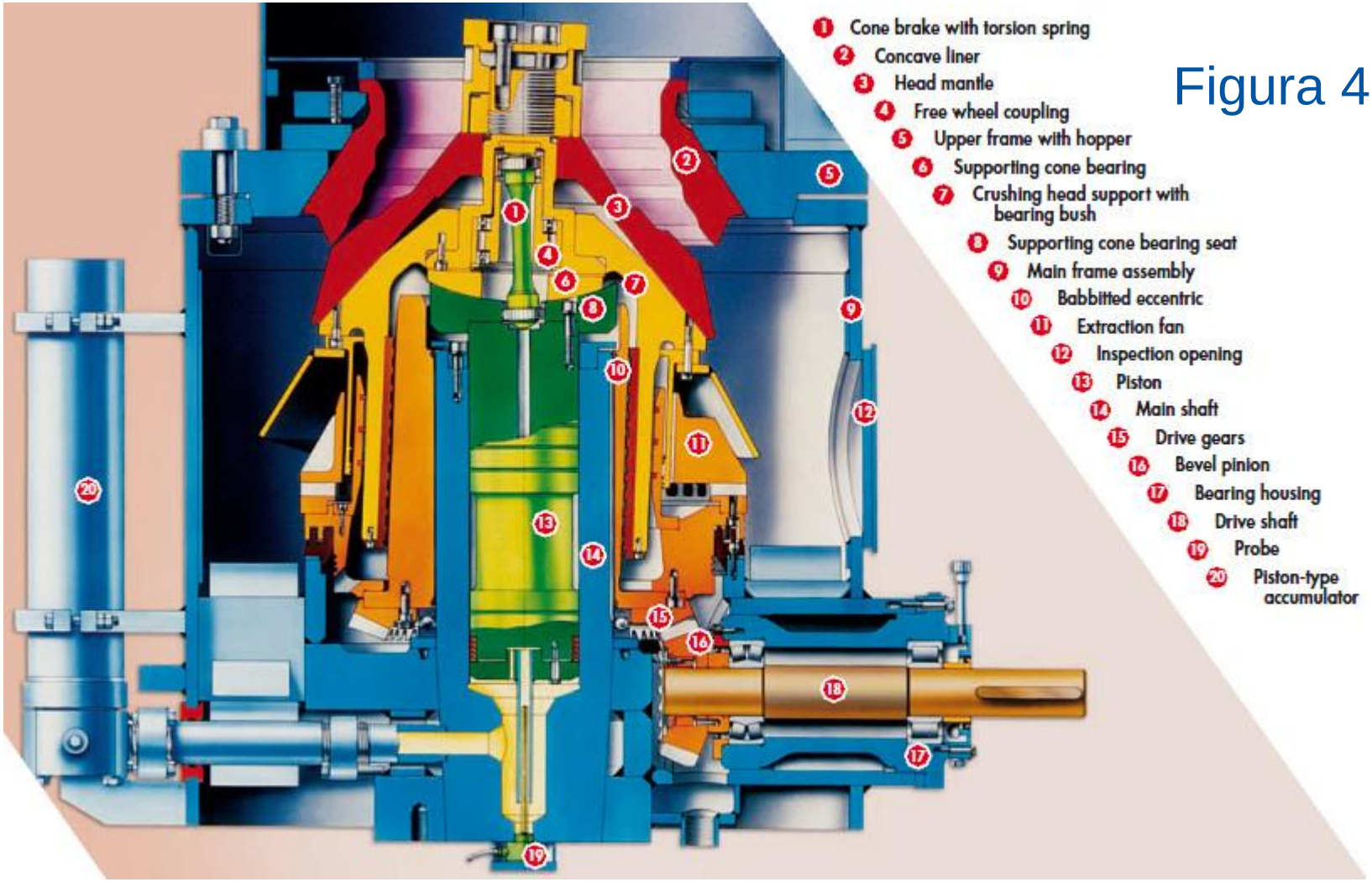


Figura 44

Omnicone de Cabeza Corta (cortesía de Nordberg – Metso Minerals)

Figura 45



Calibrator H III (cortesía de Humboldt - Wedag)

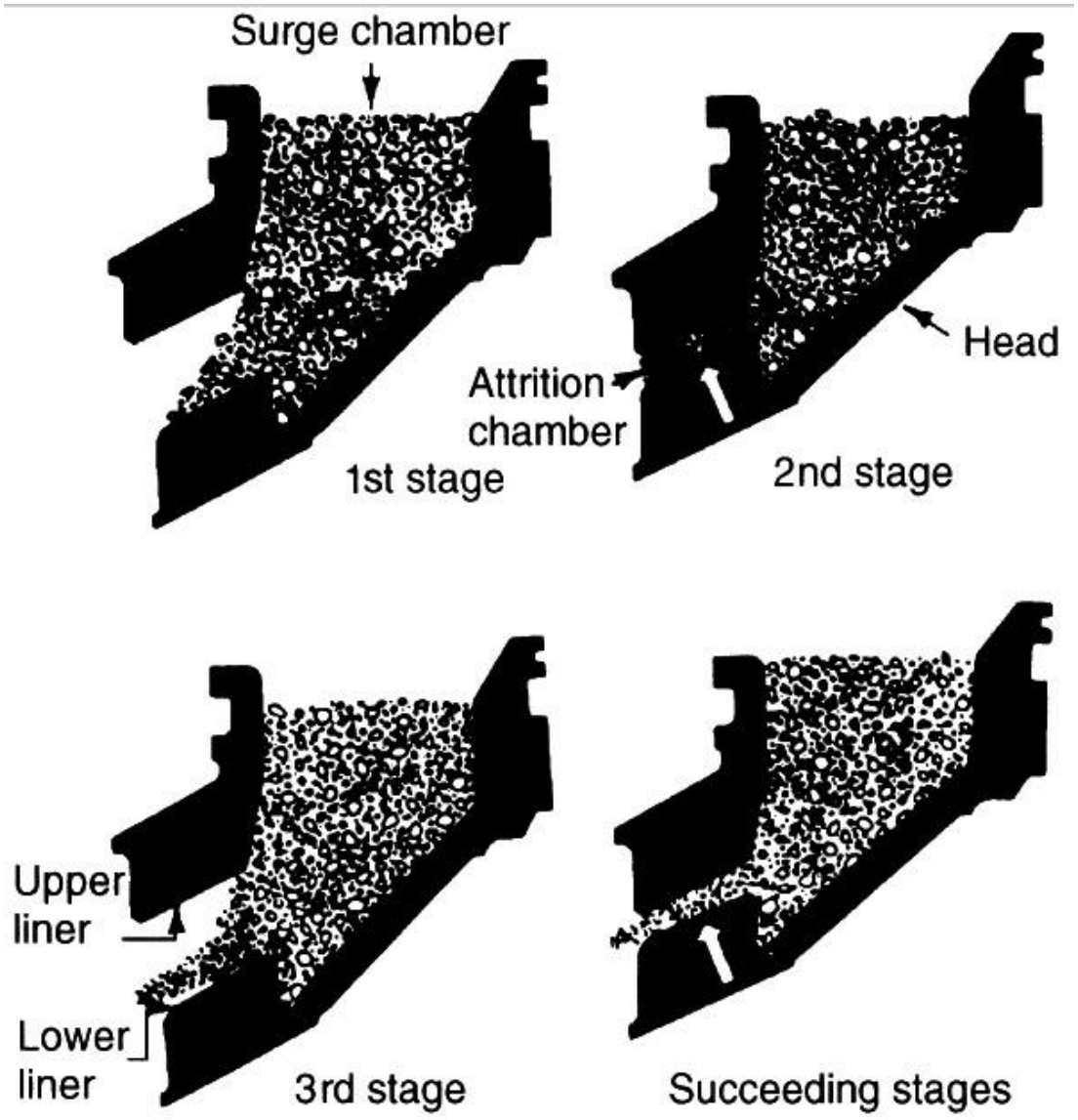


Figura 46

Cámara de trituración del Gyradisc de Metso para fabricación de arena (trituración muy fina)

Especificaciones técnicas de estos equipos

- **El triturador de cono ha sido empleado durante los últimos 70 años en la industria minera en:**
    - **La preparación del mineral para las siguientes etapas de molienda con molinos de barras y de bolas.**
    - **La trituración de los tamaños críticos (demasiado pequeños para actuar como cuerpos moledores y demasiado grandes para ser triturados por los fragmentos más grandes) de los molinos SAG.**

- **Aunque ha sido en la industria de fabricación de áridos donde ha tenido su principal empleo y desarrollo. De hecho, sus últimos avances en los sistemas automáticos de control persiguen un mayor control sobre el producto obtenido con el fin de que se ajuste a las especificaciones exigidas al producto final.**

- **El SBS de Telsmith y el Omnicone de Metso Minerals se utilizan en trituración terciaria obteniendo triturados entre 9 y 0.83 mm.**

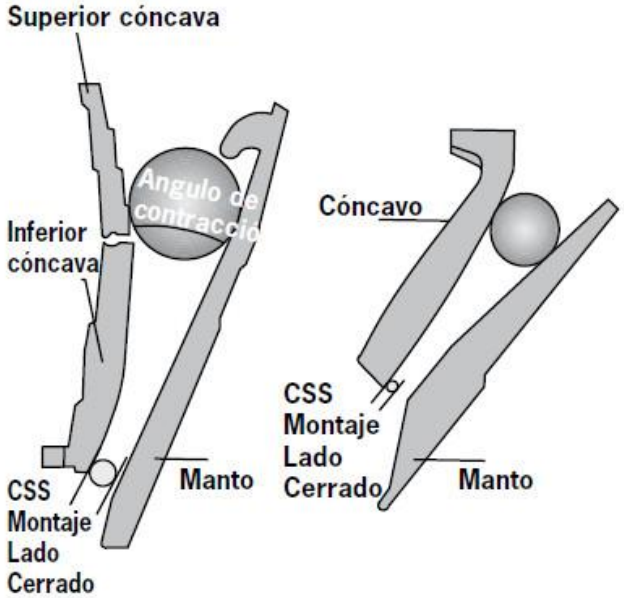
- **Estas máquinas trabajan en circuito cerrado.**

Principales diferencias entre una giratoria y un cono

Giratoria	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 (<75º)	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.

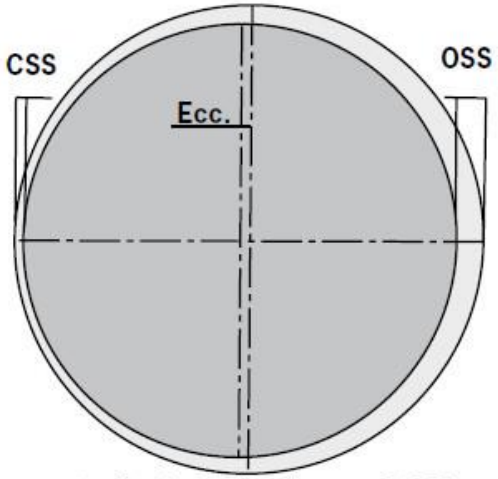
Principales diferencias entre una giratoria y un cono

Geometría de Cámara



- *Toma de la cámara para adecuarse al calibre de alimentación*
- *Cada dimensión de máquina cuenta con diferentes opciones de cámara (otros tipos de chancador no lo tienen)*
- *Cada cámara tiene cierto tamaño de alimentación vs relación de capacidad*

Montajes de Cámara



- *Un Ecc aumentado (en el mismo CSS), dará mayor capacidad pero también una descarga más gruesa*
- *Un CSS reducido mejora la cubicidad pero también reduce la capacidad y aumenta el riesgo de obturación*

Calibre aproximado de descarga:

Del Cóno 70-80%<CSS
De la Giratoria 55-60%<CSS

Dimensionado de una Giratoria

Parámetros principales para el dimensionado de Trituradoras Giratorias:

- **Diámetro máximo y boca de admisión.**
- **Capacidad y reglaje.**
- **Granulometría y porcentaje de paso por la malla de reglaje.**
- **Potencia absorbida y potencial motor.**

D_{max} y Boca de Admisión

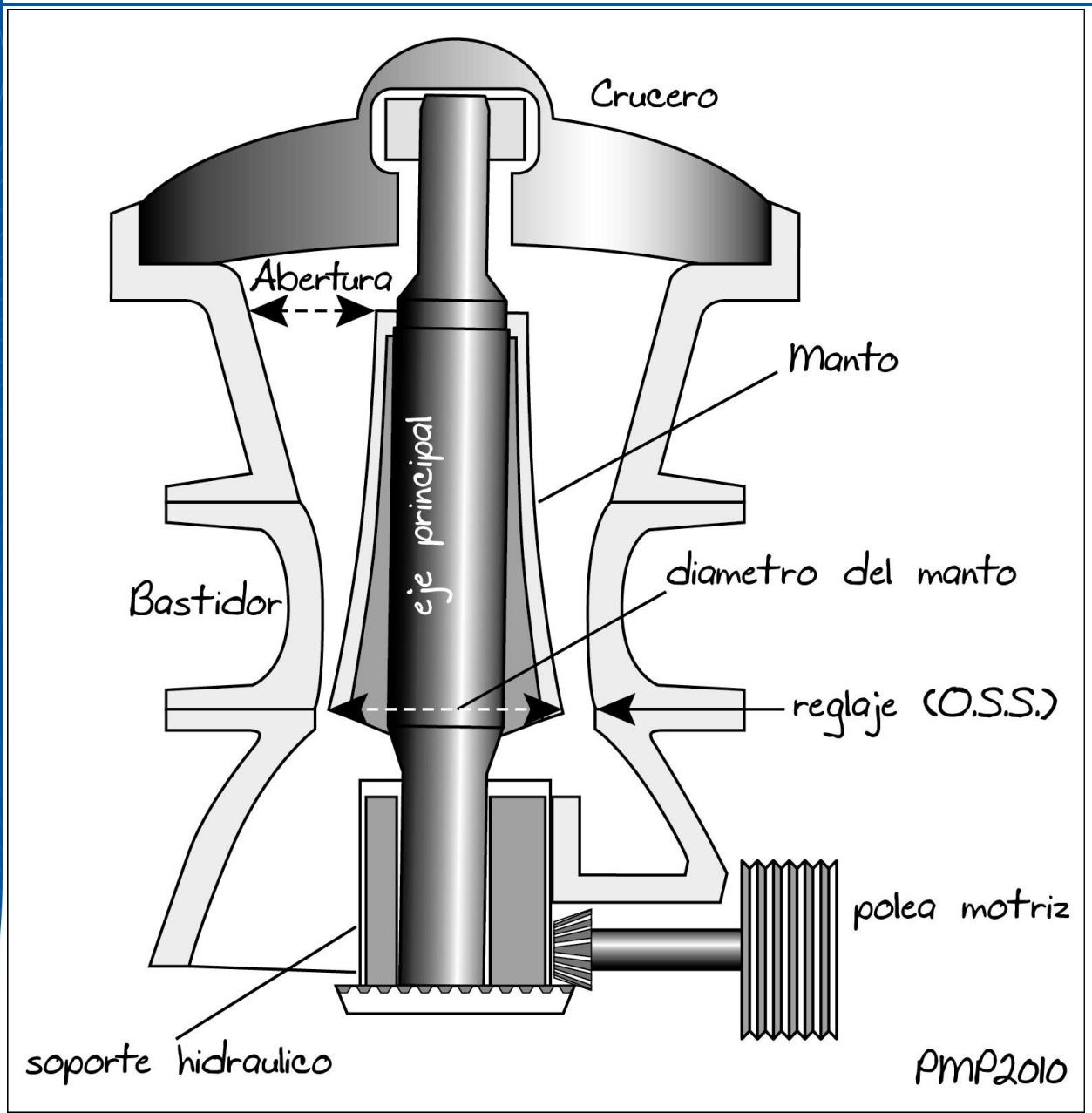
- **La boca de admisión de una giratoria queda definida por la abertura de boca (A). (Figura 47)**

- **Para no tener problemas con la entrada de fragmentos grandes a la giratoria, ésta debe cumplir:**

$$D_{\max} = 0.8 \times A$$

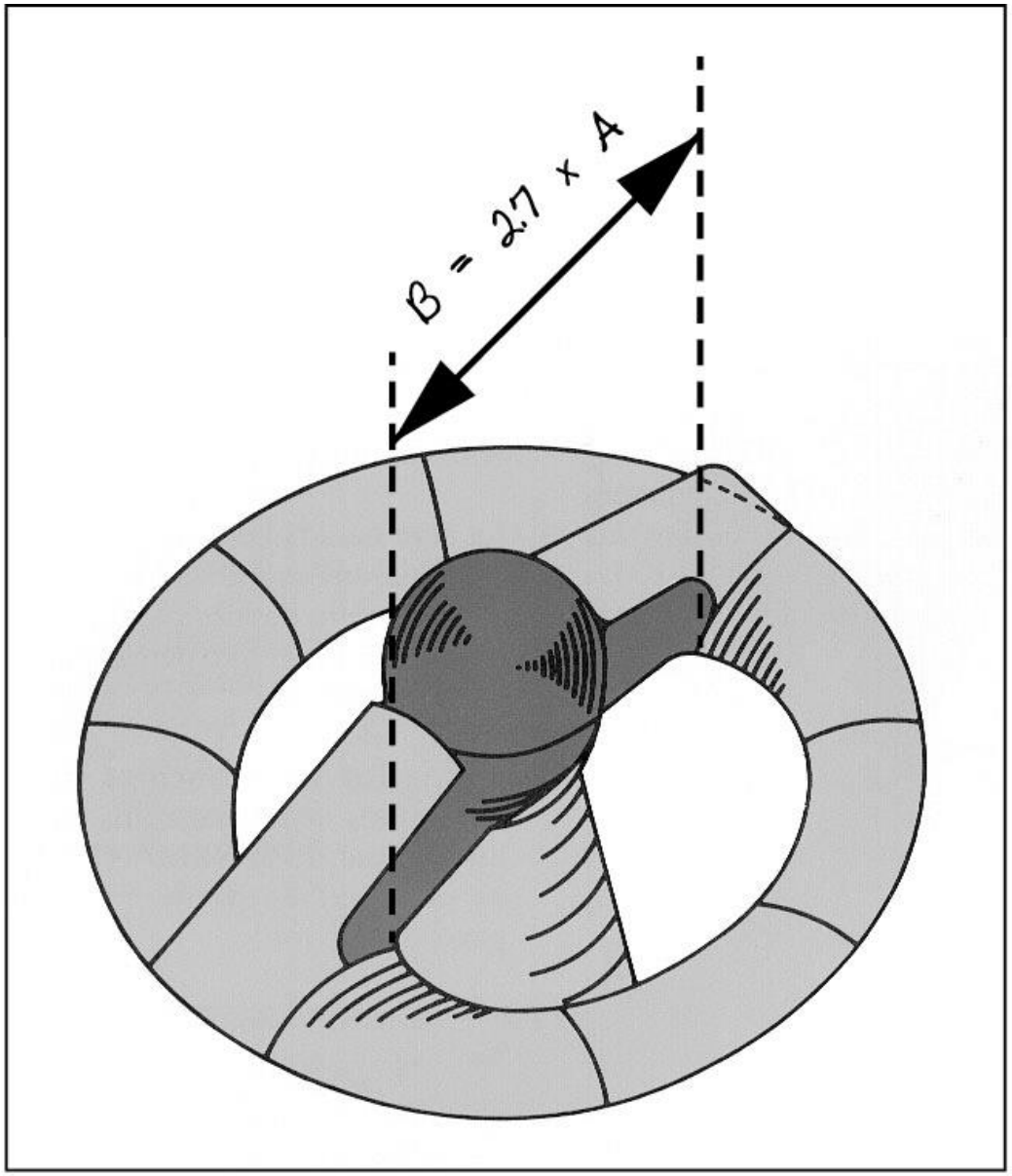
- **La longitud total de la boca de entrada (B) y la abertura de boca están relacionados por la siguiente expresión (Figura 48):**

$$B = 2.7 \times A$$



Terminología empleada en las expresiones de dimensionado.

Figura 47



Longitud total de la boca de entrada de una giratoria (B)

Figura 48

D_{max} y Boca de Admisión

Según la norma europea CECE IV (*Committee for European Construction Equipment*), 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.

Medida de la abertura con superficies dentadas

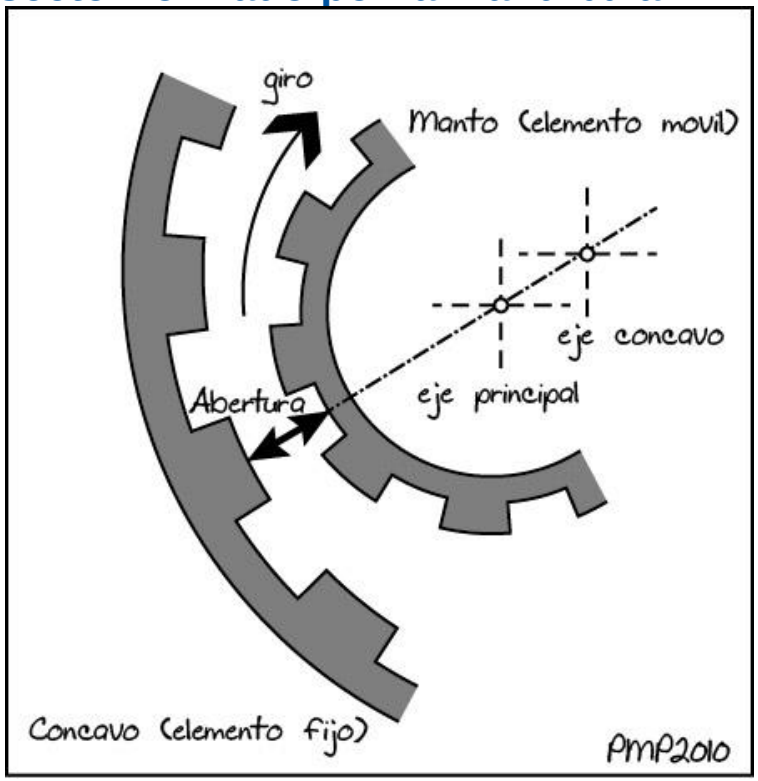


Figura 49

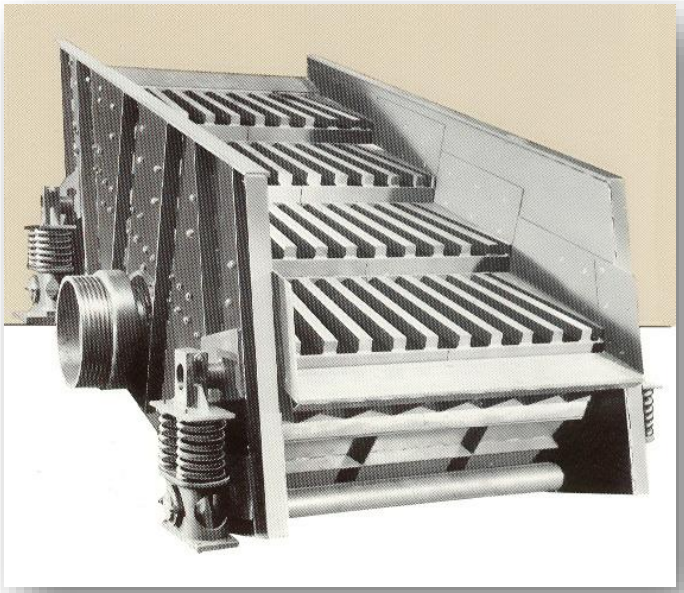
Esta medida se tomaría a partir del labio superior del anillo.

En caso de superficies dentadas se tomará a partir de la base de los dientes de la mandíbula cónica móvil (fondo de la base formada por el espacio entre dos dientes contiguos) hasta la cima de los dientes del cóncavo (Figura 49).

El diámetro máximo (D_{max}) se obtendrá a través de:

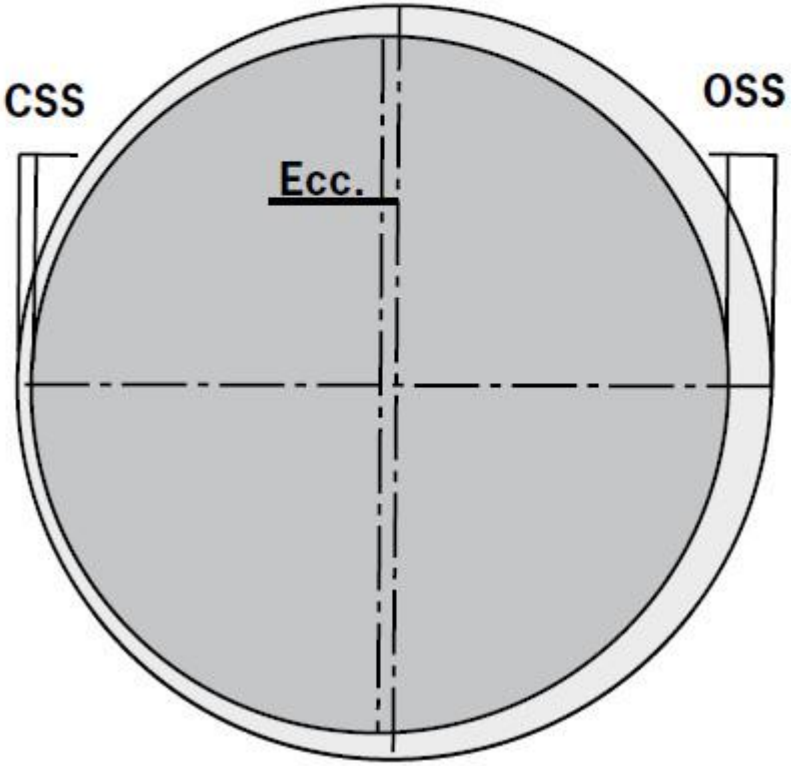
- **La información proporcionada por el precribado previo (parrillas o grizzlies).**
- **El uso de ábacos, o gráficas, que relacionan el diámetro máximo con la capacidad del cazo (m^3) empleado en la operaciones de carga.**
- **Dato conocido (tamaño material explotado).**

grizzly



Reglaje:

Montaje de lado cerrado (CSS)
+
Montaje excéntrico (Ecc)
=
Montaje de lado abierto



Montaje = reglaje

- **El reglaje en máquinas de trituración primaria es la abertura de la salida en posición abierta (en inglés, "*open side setting*" O.S.S.).**

Capacidad. Datos de Fabricantes:

Superior MK-II gyratory crusher capacities in metric tons per hour (STPH)

			Open Side Settings of Discharge Opening — Millimeters (Inches)												
Size	Feed Opening mm (in.)	Pinion RPM	Max. KW (HP)	125mm (5.0")	140mm (5 ½")	150mm (6")	165mm (6 ½")	175mm (7")	190mm (7 ½")	200mm (8")	215mm (8 ½")	230mm (9")	240mm (9 ½")	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)

Metso Minerals

The above capacities are based on an assumed feed where 100% of the feed passes 80% of the feed opening, 80% of the feed passes 50% of the feed opening, and 30% of the feed passes a sieve size that is 10% of the topsize. The capacities are for feed materials with a bulk density of 1.6 metric tons per cubic meter (100 pounds per cubic foot). All capacities are calculated at maximum throw for each respective machine.

Granulometría. Datos de Fabricantes:

Product analysis

Product analysis curves approximate size gradation, or screen analysis, of the *Superior MK-II* gyratory crusher product. Actual gradation will vary, depending on the material, operating conditions and the amount of fines or product size in the feed.

Table I lists the percent of product for various classes of material that will pass a square screen opening equal to the crusher open side setting (OSS). Product percentage changes with the type of feed, and represents nominal conditions.

These values are the basis for using the product analysis curves, Figure 1.

Horizontal axes on Figure 1 represent cumulative percentages passing the corresponding screen openings. The vertical axes represent material sizes in mm (inches), through a square opening. See example for using tables.

Product Curve Selection (High Energy Work Index)	Percent Passing
Soft ($W_i = < 10$)	90
Medium ($W_i = 10 - 15$)	85
Hard ($W_i = > 15$)	75

Table I — Percent of product passing a square opening equal to the open side of crusher.

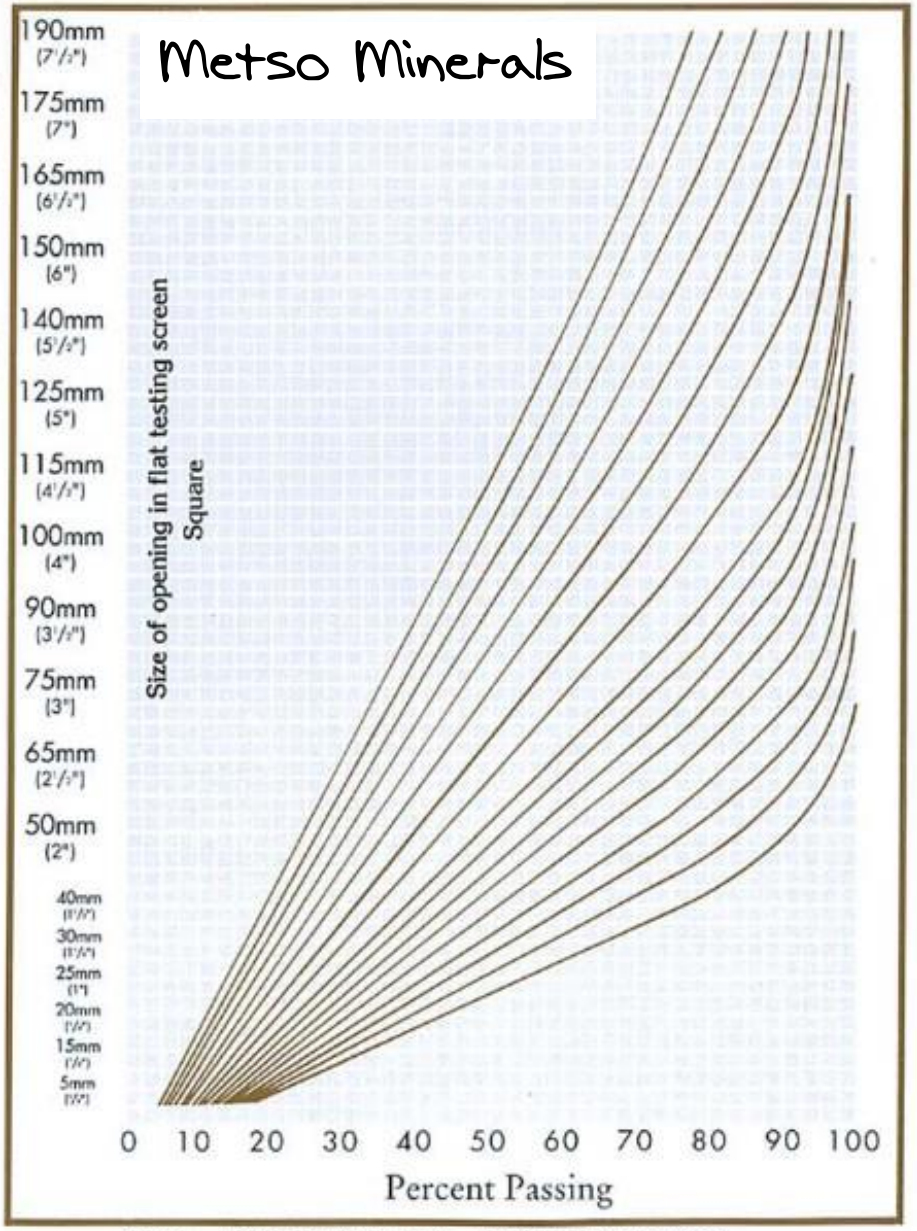


FIG. 1 — Typical screen analysis - primary crusher products

Capacidad. Datos de Fabricantes:

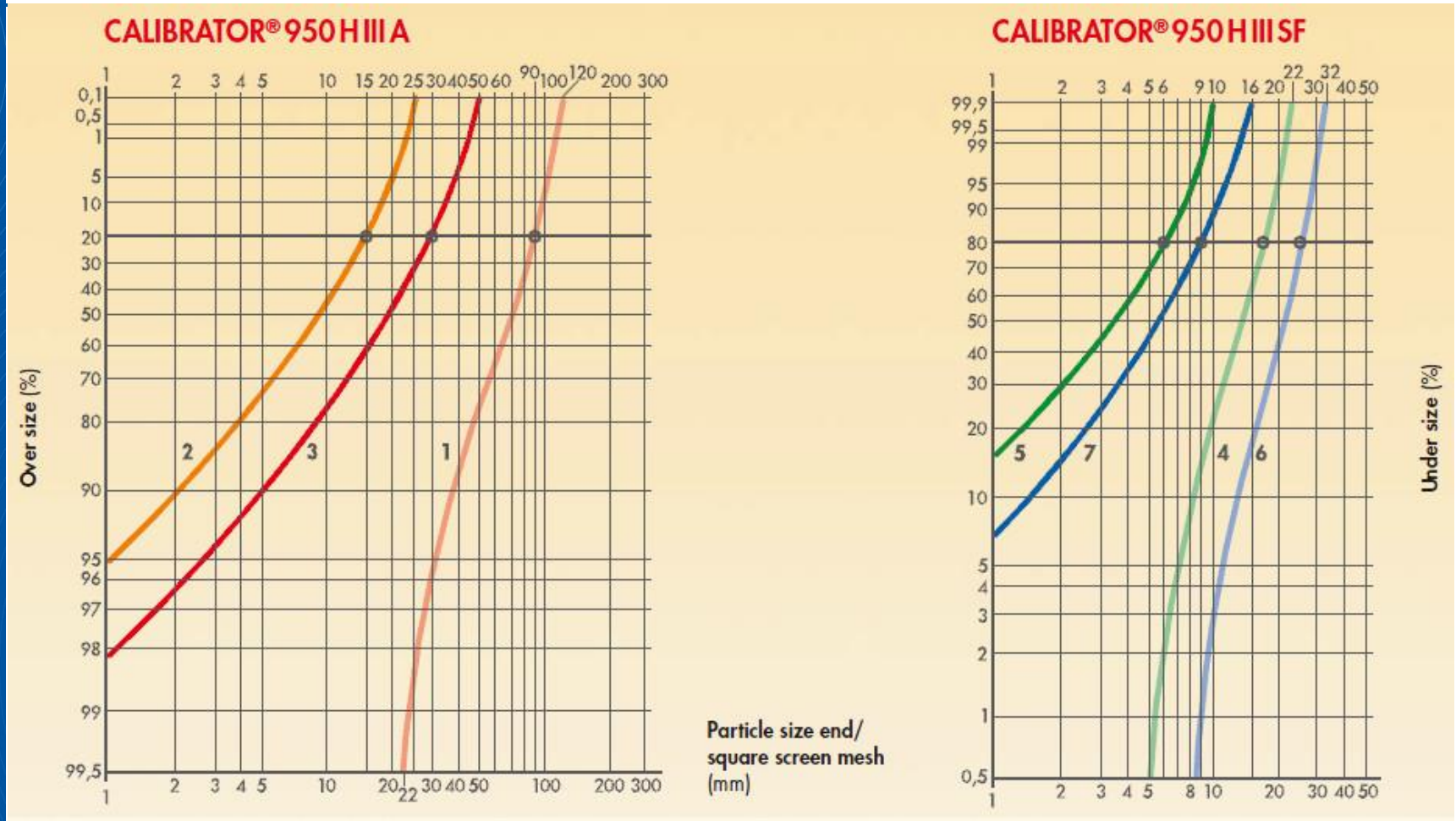
Capacities in m^3/h

... valid for dry hard rock and dense ores, approximate figures

CALIBRATOR® Size	Crushing tool type	Closed side setting "S" (mm) 5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
710 H III	A		26-30	30-35	35-45									
	B		24 - 30	26-38										
	C		21 - 32											
	SF	22 -	40											
950 H III	A		72	- 100	80	-	122							
	B		55	- 72	63	- 86								
	C		42 - 52	48	- 65									
	SF		38 - 75											
1300 H III	A			100	-	150	140	-		200				
	B		85	-	125	120	-	160						
	C		70 -	100	100	- 125								
	SF		65 - 95											
1600 H III	A				185	-	250	220	-	290	290	- 350		
	B			135	-	200	200	250	240	- 295				
	C		105	-	165	155	-	235						

Humboldt Wedag - Calibrator

Granulometría. Datos de Fabricantes:



Standard examples

- Average hard rock, tough and hard
- Compressive strength approx. 2500-3000 kg/cm²

1 — **Feed size approx. 22-120 mm**

2 — **Product size approx. 0-25 mm**
Closed side setting approx. 12 mm
Reduction ratio Z_{80} = 90:15 = 6

3 — **Product size approx. 0-50 mm**
Closed side setting approx. 24 mm
Reduction ratio Z_{80} = 90:30 = 3

4 — **Feed size approx. 5-22 mm**

5 — **Product size approx. 0-10 mm**
Closed side setting approx. 6-8 mm
Reduction ratio Z_{80} = 16:6 = 2,7

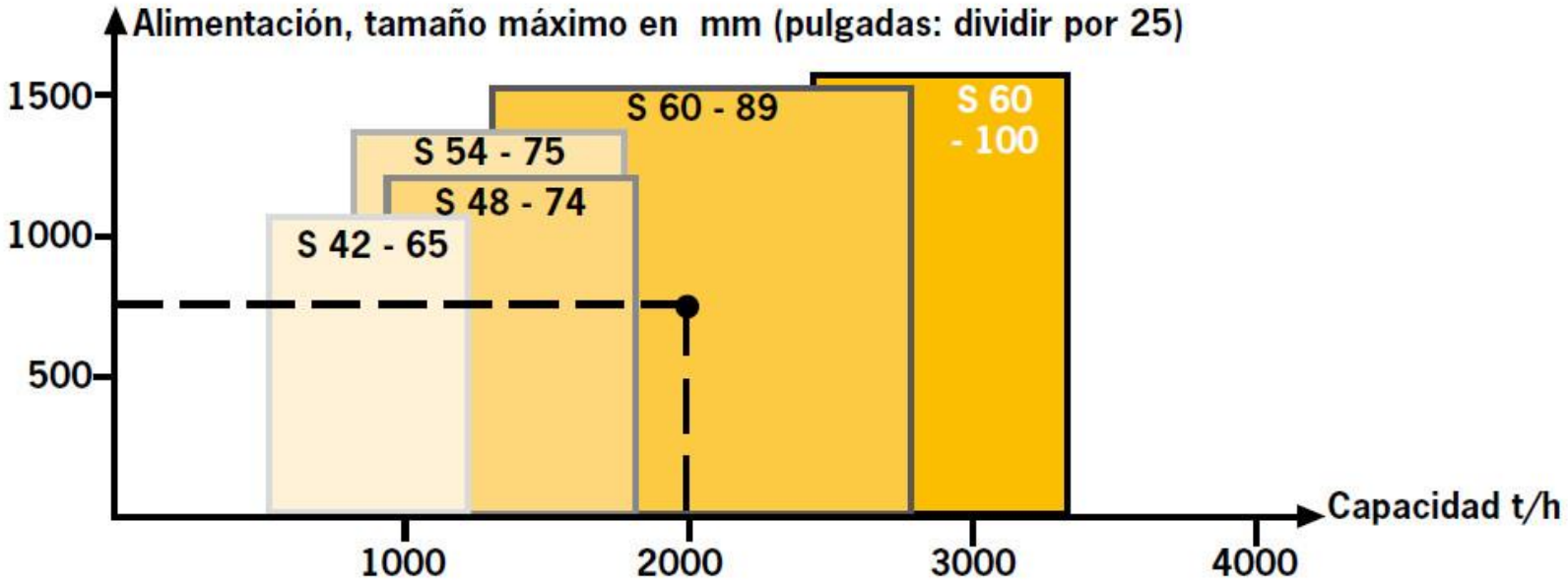
6 — **Feed size approx. 8-32 mm**

7 — **Product size approx. 0-16 mm**
Closed side setting approx. 8-10 mm
Reduction ratio Z_{80} = 25:9 = 2,8

Humboldt Wedag - Calibrator

Capacidad. Datos de Fabricantes:

Giratorio primario – tamaño de alimentación vs capacidad



Metso Minerals

Capacidad. Datos de Fabricantes:

Model	Weight * mt (st)	Feed opening mm (in)	Capacity mtph (stph)	Max. motor power kW (hp)	OSS mm (in)	Horizontal shaft rpm
CG650	181 (199.5)	1150x3170 (45x125)	910-2460 (1003-2712)	375 (502.7)	100-175 (3.9-6.9)	460
CG820	262 (288.8)	1350x3350 (53x132)	1530-3580 (1687-3946)	450 (603.2)	130-205 (5.1-8.1)	440
CG840	451 (497.1)	1550x4140 (61x163)	2370-5540 (2612-6107)	600 (804.3)	150-235 (5.9-9.3)	430
CG850	523 (576.5)	1550x4140 (61x163)	3090-6980 (3406-7694)	800 (1072)	150-235 (5.9-9.3)	420
CG880	748 (824.5)	1650x4410 (65x174)	4810-9750 (5302-10 750)	1100 (1475)	175-250 (6.9-9.8)	410

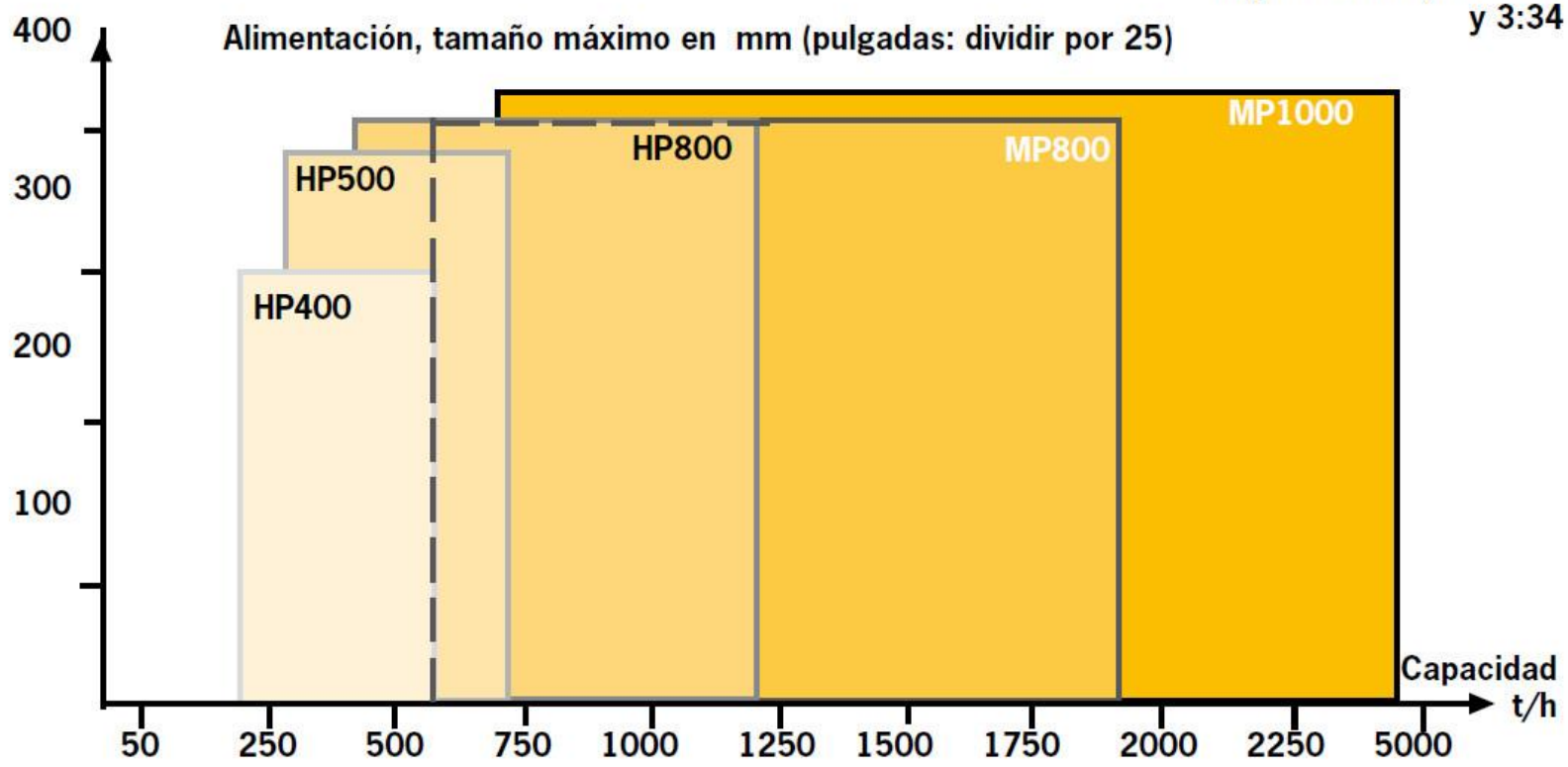
* Weights can vary depending on configuration and manufacturing tolerances.

Serie CG de Sandvik

Capacidad. Datos de Fabricantes:

Chancador de Cóno – Tamaño de Alimentación vs capacidad (fluctuación HP y MP)

Hoja de datos, ver 3:32 y 3:34

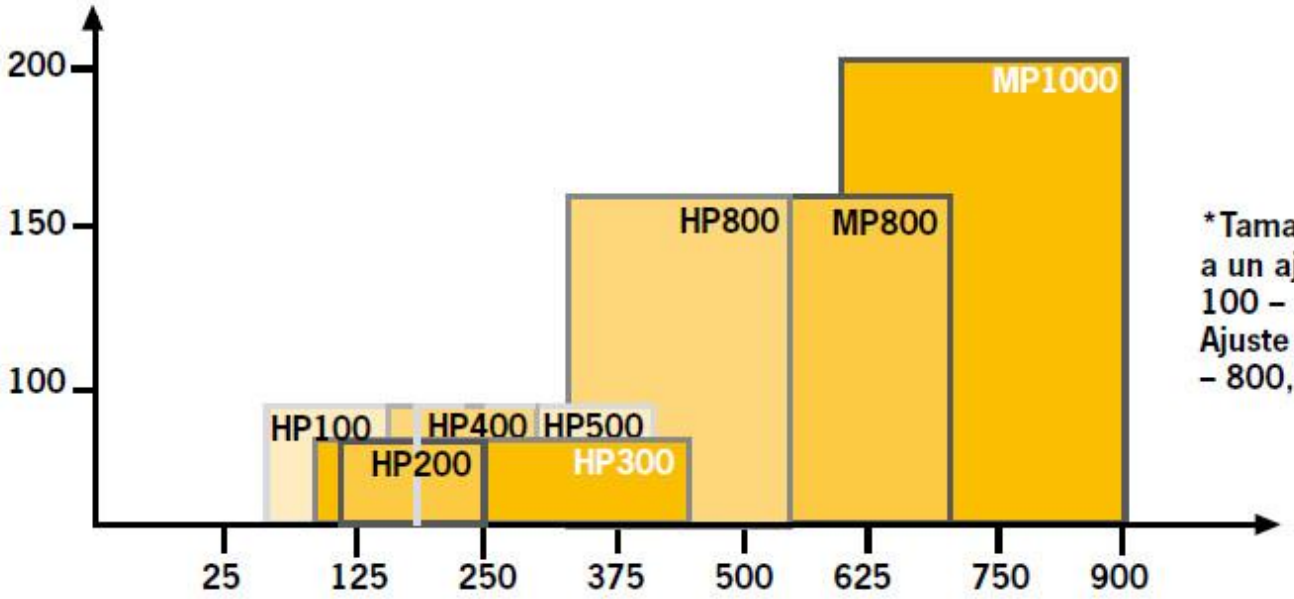


Metso Minerals – Conos de trituración secundaria

Capacidad. Datos de Fabricantes:

Chancador de cóno Terciarios – series HP* y MP*- Tamaño de alimentación vs capacidad

Alimentación, tamaño máximo en mm (pulgadas: dividir por 25)



***Tamaño tope de alimentación a un ajuste de 10 mm para HP 100 – 300**
Ajuste de 19 mm para HP 400 – 800, MP 800 - 1000

Metso Minerals – conos de trituración terciaria

Capacidad. Fórmulas empíricas:

Taggart

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

Donde:

- ***T*** **= Capacidad de la máquina (sht)**
- ***p*** **= Longitud perimetral de la máquina (pulgadas)**
- ***r*** **= reglaje (pulgadas)**
- ***l*** **= longitud total de la boca de entrada (B).**

Capacidad. Fórmulas empíricas:

Broman (1984)

$$Q = (D - S) \cdot \pi \cdot S \cdot s \cdot \cot(a \cdot k \cdot 60 \cdot n) \quad m^3 / h$$

- ***Q*** **= Capacidad de la máquina (m^3/h)**
- ***D*** **= Diámetro del manto en el punto de descarga (m)**
- ***S*** **= reglaje del lado abierto o *O.S.S.* (m)**
- ***s*** **= abertura de salida en posición cerrada (m)**
- ***a*** **= ángulo que forma el manto con el cóncavo a la entrada (ángulo de pellizco)**
- ***n*** **= velocidad de la giratoria (rpm)**
- ***k*** **= constante del material (varía entre el valor 2 y 3)**

Capacidad. Fórmulas empíricas:

Giesklieng

$$T = f \cdot \rho_a \cdot L \cdot r \cdot t \cdot n \cdot a \cdot u$$

Donde:

- ***T*** **= Capacidad de la máquina (tph).**
- ***f*** **= Coeficiente cuyo valor depende del tipo de alimentación y del tipo de revestimientos empleados (ver tabla).**
- ρ_a **= densidad aparente. Puede tomar el valor de 0.6·** ρ_r **(densidad real).**

Capacidad. Fórmulas empíricas:

Gieskieng

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**

Tabla para la obtención del coeficiente "f"

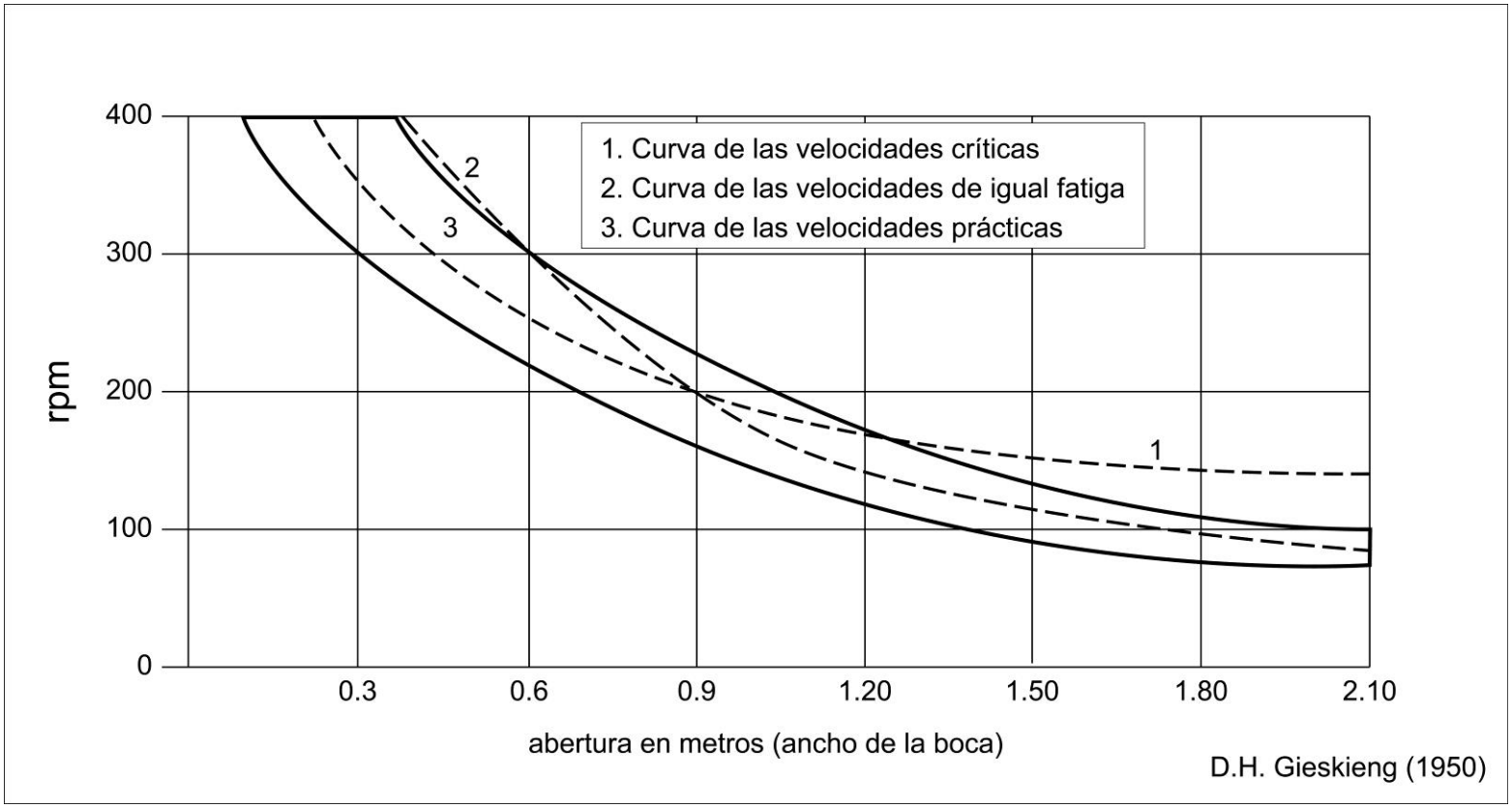
Capacidad. Fórmulas empíricas:

Gieskieng

- ***L*** **= Longitud de la circunferencia media a la salida (cm).**
- ***r*** **= Reglaje (cm). Abertura de salida en posición abierta.**
- ***t*** **= excentricidad (cm). Oscila entre el 15-30% del reglaje.**
- ***n*** **= Número de revoluciones por minuto. Si no se dispone, se puede estimar por medio de curvas (ver curva siguiente).**

Capacidad. Fórmulas empíricas:

Gieskieng



Gráfica para la obtención de "n" (r.p.m.)

Capacidad. Fórmulas empíricas:

Gieskieng

- ***a*** **= Coeficiente que depende del ángulo que forma el manto con el cóncavo:**

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

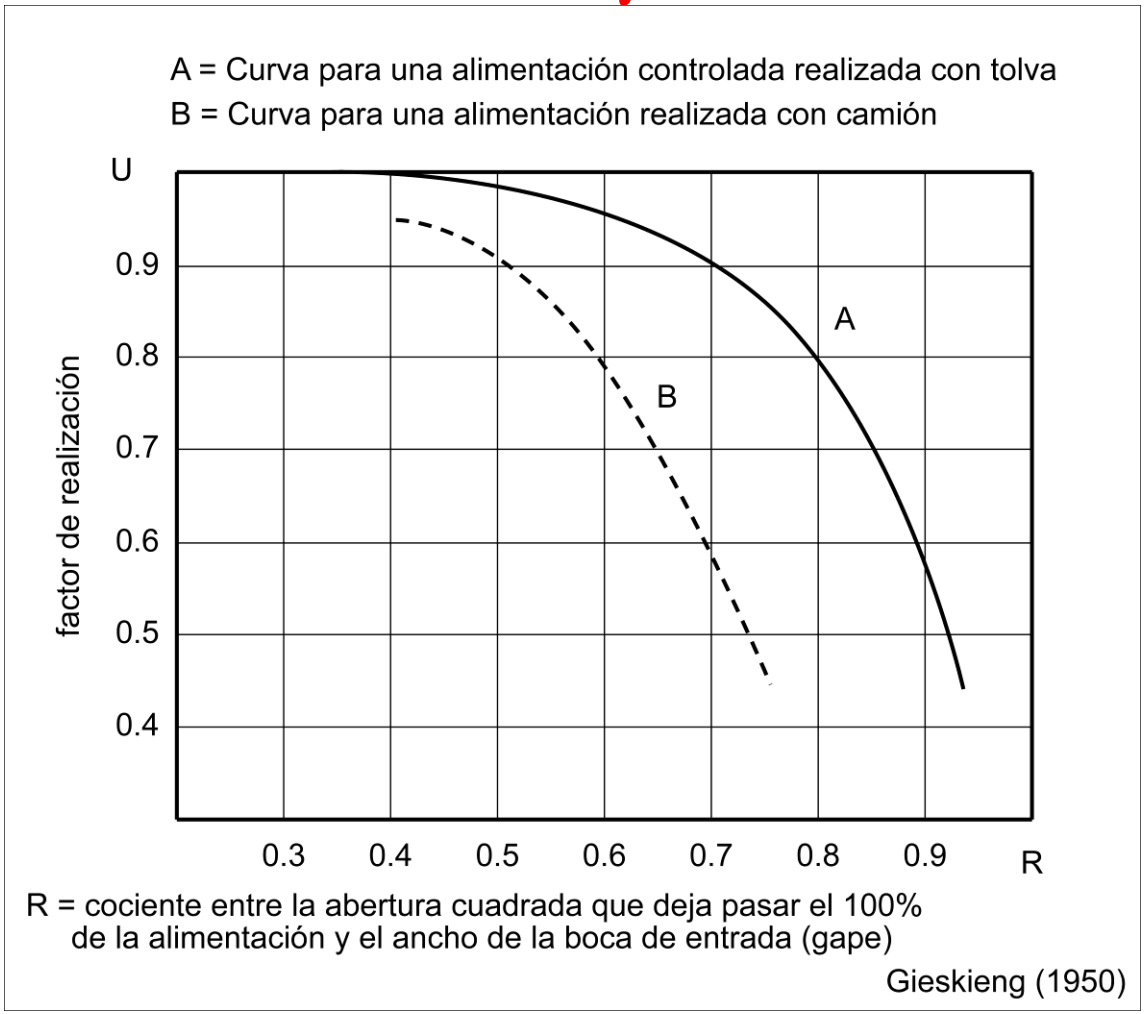
α es el ángulo de pellizco de la giratoria a la entrada.

- ***u*** **= Coeficiente de utilización. Su valor se obtiene a través de gráfica (ver gráfica siguiente).**

- ***R*** **= D_{max}/A, siendo A la abertura de alimentación.**

Capacidad. Fórmulas empíricas:

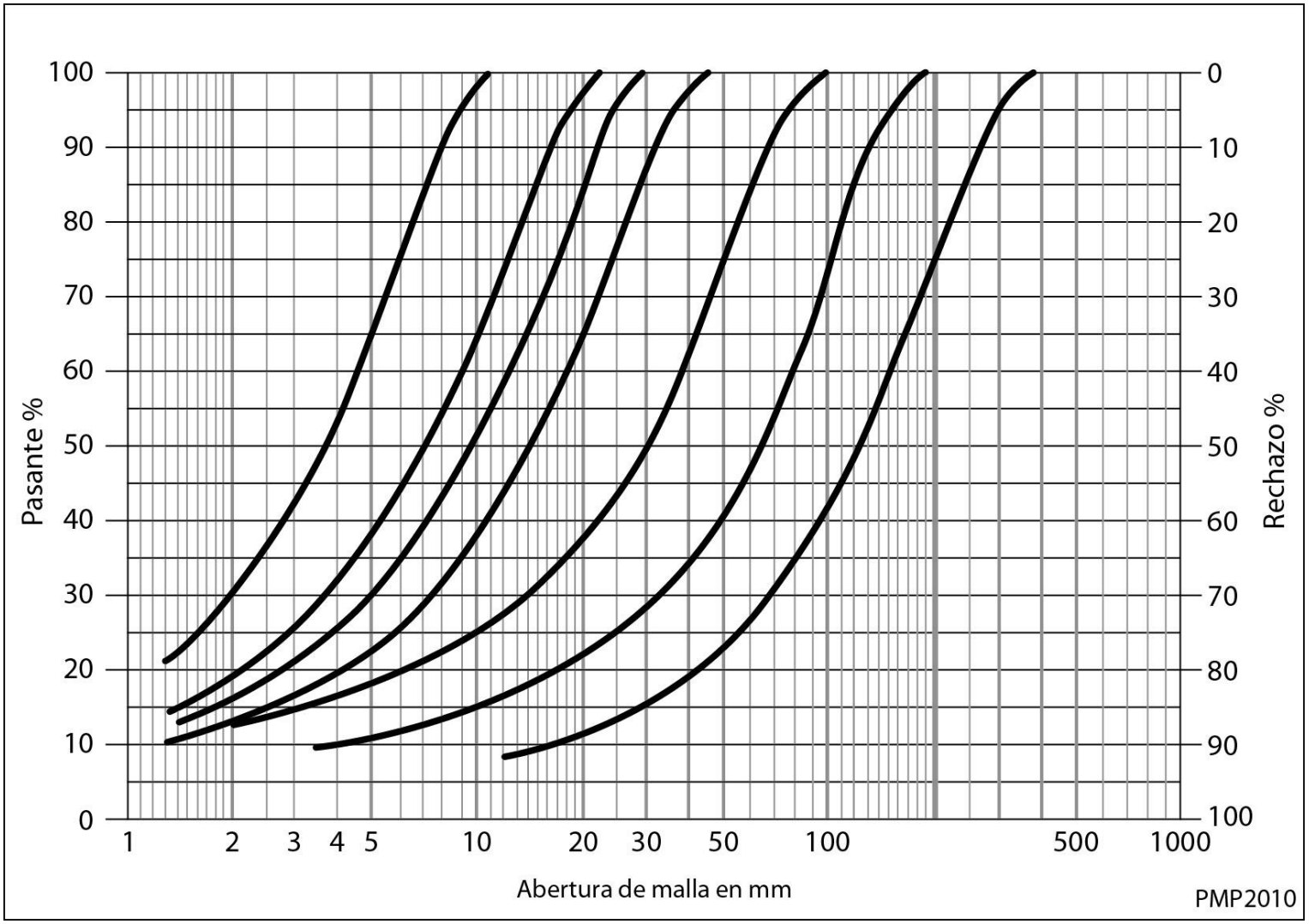
Gieskieng



Gráfica para la obtención de "u"

Granulometría:

Curvas granulométricas para el producto de una giratoria primaria. Para los conos, también se utilizan este tipo de curvas pero en circuito abierto.



Granulometría

La siguiente tabla proporciona el porcentaje de paso para una malla de abertura cuadrada igual a la abertura del reglaje de las giratorias (O.S.S.).

Tipo de máquina	Tipo de 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 parrillas fijas).
(**) = reglaje de salida en la posición cerrada (C.S.S.)
= giratorias de trituración secundaria

Granulometría

Tabla de porcentajes de paso para una malla de abertura cuadrada igual a la abertura del reglaje en función del Índice de trabajo o Bond (W_i)

Indice de Trabajo W_i (Material)	Porcentaje de paso (%)
Blando (W_i =< 10)	90
Medio (W_i = 10-15)	85
Duro (W_i => 15)	75

Granulometría

Tabla de porcentajes de paso para una malla de abertura cuadrada igual a la abertura del reglaje de los conos (C.S.S.) en función del Índice del Bond.

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

Granulometría

Porcentajes de paso para una malla de abertura cuadrada igual a la abertura del reglaje de los hidroconos (C.S.S.) en función del tipo de cámara de trituración

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

Cálculo de la Potencia

La potencia absorbida, según Bond, viene dada por:

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

Siendo:

- **P_a = Potencia absorbida (kW).**
- **Q = Capacidad de la giratoria (tph).**
- **Nota: si w_i se da en kWh/t, no hace falta dividir por 0.907.**
- **La potencia útil para una giratoria es igual a: $P_m = 1.6 \cdot P_a$**
- **La potencia útil para un cono es igual a: $P_m = 1.3 \cdot P_a$**

Elementos del precio de coste de una trituradora:

Amortización: **20 años para giratorias primarias de buena fabricación. 10 años para giratorios secundarios.**

Fuerza motriz: 50-75% de la potencia instalada para giratorias primarias. 60-80% de la potencia para los trituradores giratorios secundarios y conos terciarios.

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 conos o giratorios secundarios.**

Desgaste: **Los principales elementos de desgaste son las excéntricas, los rodamientos, piñones, el cono, los cóncavos, elementos del circuito hidráulico, etc.**

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

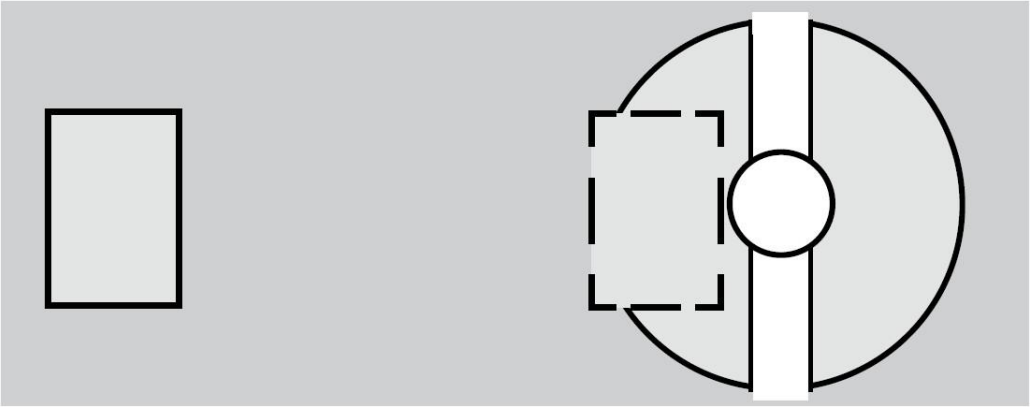
Comparativa

Comparativa segun Taggart

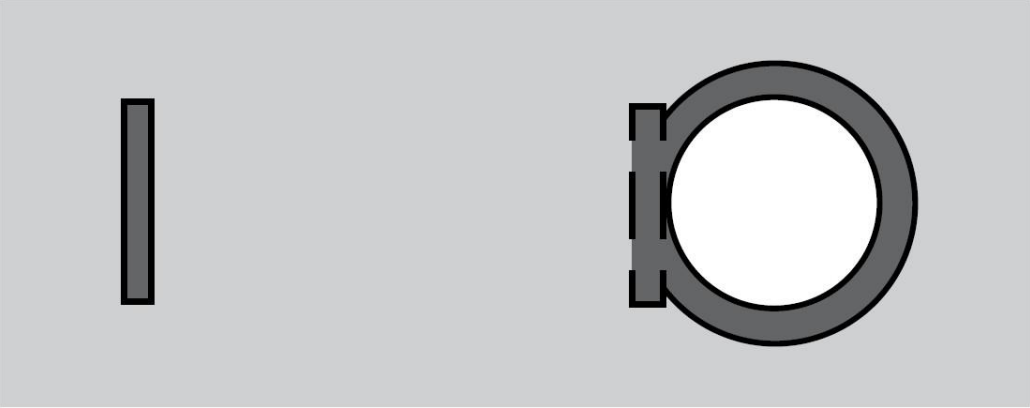
Característica	Equipo más adecuado
Capacidad > 800 – 1000 t/h	Giratoria
Tamaño de admisión a igual capacidad (< 800 – 1000 t/h)	Mandíbulas
Peso a igualdad de abertura de entrada	2·Mandíbulas = Giratoria
Capacidad a igualdad de tamaño de alimentación y razón de reducción.	Giratoria = 3.5 ·Mandíbulas
Precio a igualdad de boca de entrada	Giratoria = 3·Mandíbulas
Altura y profundidad del edificio.	Mandíbulas. (menos espacio)
Esfuerzos en cimentaciones y bancadas	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

Comparativa

Comparativa entre aberturas de boca de entrada:



Comparativa entre superficies de salida:



Criterios de elección según Metso Minerals:

Con una alimentación de material de dureza media-blanda (Mohs <5), la primera opción será un triturador de impactos de eje horizontal (HSI).

Para materiales muy duros y abrasivos, el triturador giratorio o el de mandíbulas tipo Blake sería la opción más seria:

Regla 1: Siempre seleccionar un triturador de mandíbulas, si se puede, ya que es la opción más económica.

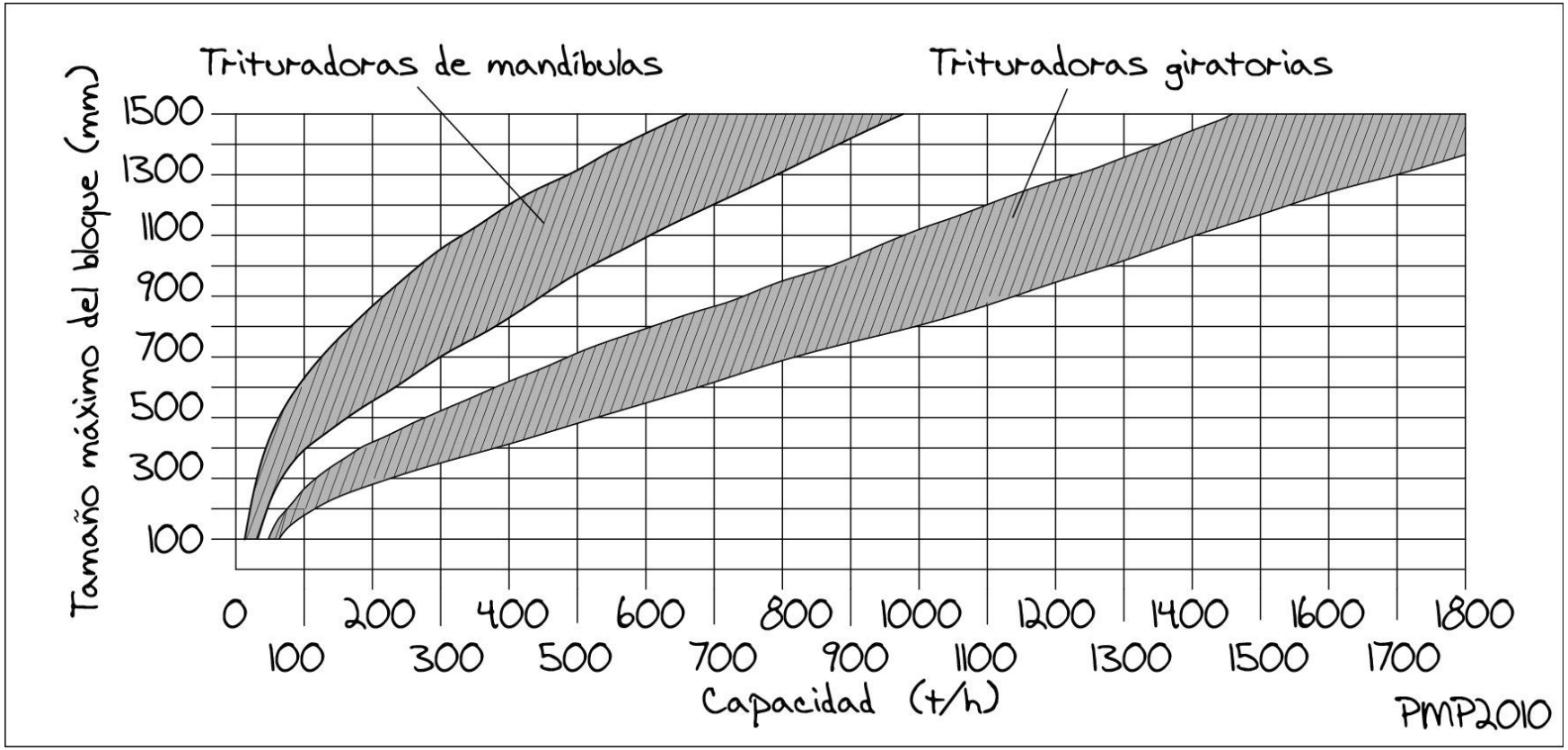
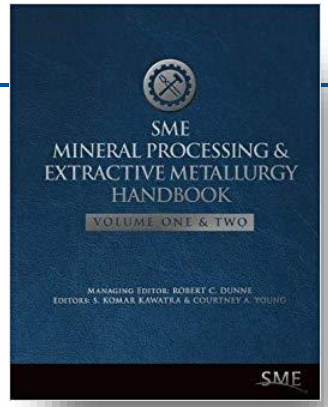
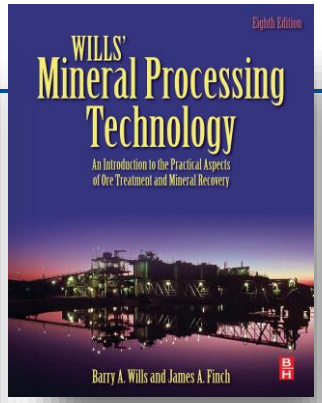
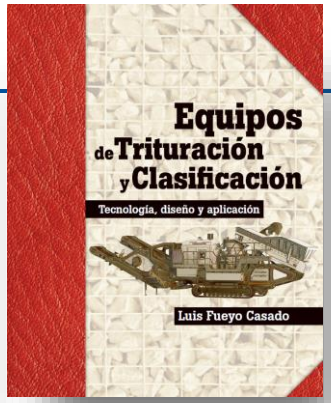
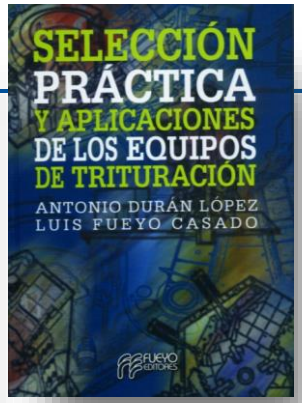
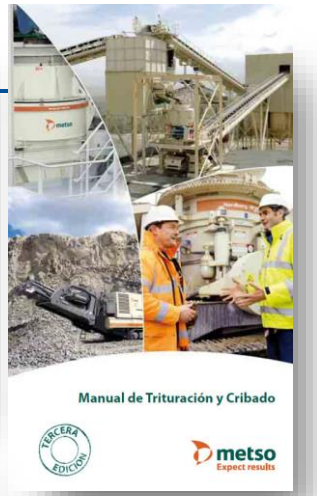
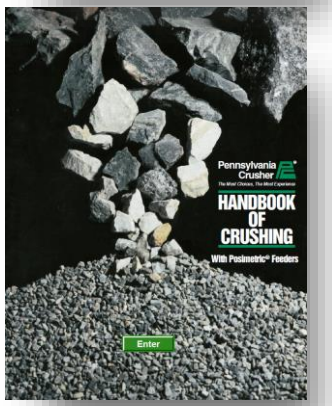
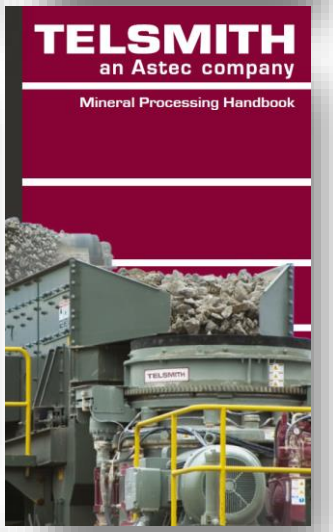
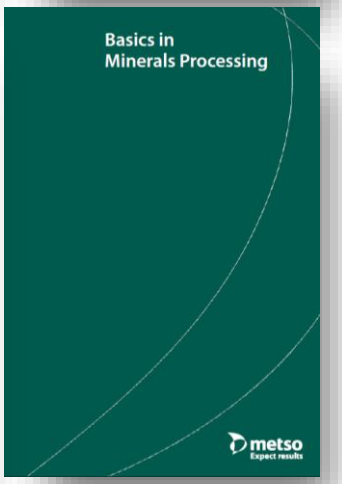
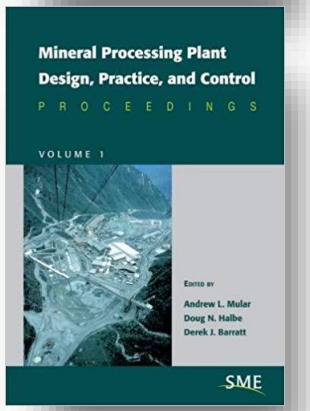
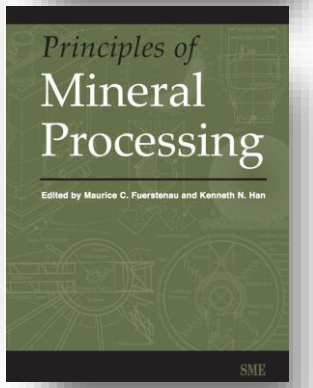
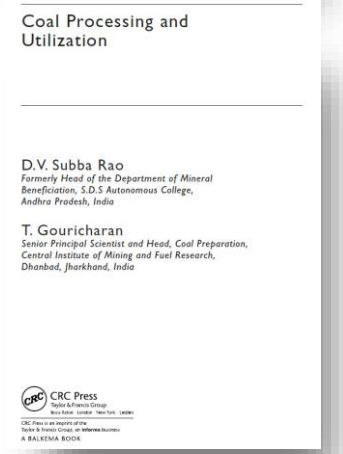
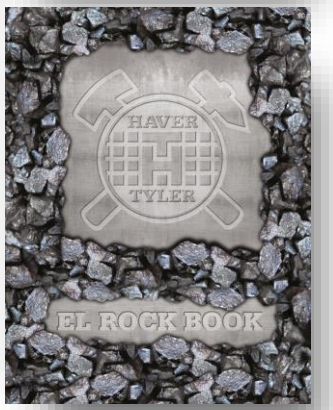
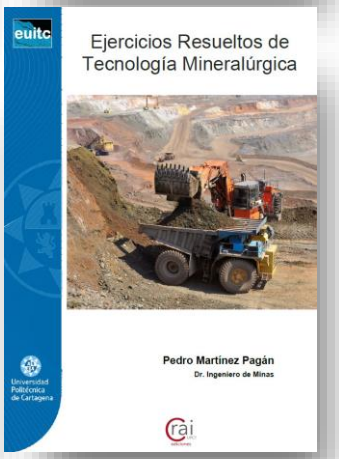
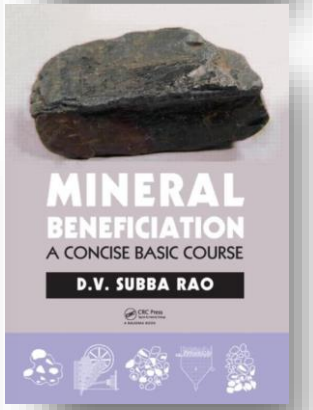
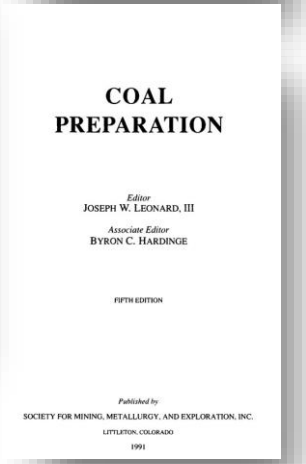
Regla 2: Para bajas capacidades de trituración utilizar un triturador de mandíbulas, con el empleo alternativo de un martillo hidráulico para fragmentar los sobretamaños que puedan llegar el equipo.

Regla 3: Para altas capacidades utilizar un triturador de mandíbulas con una mayor abertura de alimentación.

Regla 4: Para muy altas capacidades utilizar una giratoria.

Comparativa

Áreas apropiadas de trabajo:



Referencias: