

UNIDAD II: TRITURACION

INTRODUCCION

El diseño de las máquinas de reducción de tamaño cambia marcadamente a medida que cambia el tamaño de las partículas. Virtualmente en todas las maquinas las fuerzas de fractura son aplicadas por compresión o impacto. Los productos en cada caso son similares y la diferencia entre las maquinas está asociada principalmente con los aspectos mecánicos de aplicación de la fuerza a los varios tamaños de partículas.

Cuando la partícula es grande, la energía para fracturar cada partícula es alta y a medida que disminuye el tamaño de la partícula, la energía necesaria para fracturarla aumenta. Estructuralmente, las trituradoras tienen que ser grandes y fuertes.

TRITURADORAS

La trituración es la primera etapa de la reducción de tamaño. Generalmente es una operación en seco y usualmente se realiza en dos o tres etapas, existiendo en algunos casos hasta cuatro etapas.

La trituración se realiza mediante máquinas pesadas que se mueven con lentitud y ejercen presiones muy grandes a bajas velocidades. La fuerza se aplica a los trozos de roca mediante una superficie móvil o mandíbula que se acerca o aleja alternativamente de otra superficie fija capturando la roca entre las dos. Una vez que la partícula grande se rompe, los fragmentos se deslizan por gravedad hacia regiones inferiores de la máquina y sometidas de nuevo a presiones sufriendo fractura adicional.

Las trituradoras pueden clasificarse básicamente de acuerdo al tamaño del material tratado con algunas subdivisiones en cada tamaño de acuerdo a la manera en que se aplica la fuerza.

1. La trituradora primaria trata el material que viene de la mina, con trozos máximos de hasta 1.5 m (60 plg) y lo reduce a un producto en el rango de 15 a 20 cm (6 a 8 plg). Normalmente este material va a una pila de almacenamiento.

2. La trituradora secundaria toma el producto de la trituradora primaria y lo reduce a su vez a un producto de 5 a 8 cm (2 a 3 plg).
3. La trituradora terciaria toma el producto de la trituradora secundaria y lo reduce a su vez a un producto de 1 a 1.5 cm (3/8 a 1/2 plg) que normalmente va a una etapa de molienda.

En la trituración primaria se utilizan principalmente trituradoras de mandíbula o giratorias. En la secundaria trituradoras giratorias o más comúnmente trituradora de cono. Mientras que en la trituración secundaria se utilizan casi universalmente trituradora de cono. Alternativamente, cuando existe trituración cuaternaria, las trituradoras utilizadas son de cono.

Cuando el mineral a triturar es un material blando, húmedo o arcilloso se utilizan trituradoras de impacto como el molino de martillo.

TRITURADORAS PRIMARIAS

Las trituradoras primarias se caracterizan por una aplicación de fuerza con baja velocidad a partículas que se ubican entre dos superficies o mandíbulas casi verticales, que son convergentes hacia la parte inferior de la máquina y que se aproximan y alejan entre sí con un movimiento de pequeña amplitud que está limitado para evitar el contacto entre mandíbulas. Como ya se dijo, hay dos tipos principales de trituradoras primarias. Las trituradoras de mandíbula y las trituradoras giratorias.

TRITURADORAS DE MANDIBULAS

La característica más distintiva de este tipo de chancadoras son las dos placas que se abren y cierran como mandíbulas de animal.

El excéntrico y la palanca que tienen una tremenda ganancia mecánica, proporcionan la fuerza bruta necesaria para el chancado. Un volante de masa periférica adecuada proporciona el momento necesario para mantener una velocidad casi constante durante el ciclo y en alguna parte del mecanismo está el eslabón débil que actúa como un fusible de poder para proteger la maquina en el caso de esfuerzos extremos.

Generalmente el bastidor de la trituradora es fabricado de acero fundido a veces reforzado con barras de acero y toda la cámara de chancado, es decir ambas

mandíbulas y los dos lados laterales están equipados con revestimiento reemplazables. Estos revestimientos, que sufren casi todo el desgaste son hechos de acero al manganeso.

Las trituradoras de mandíbula se clasifican de acuerdo al método de pivotar la mandíbula móvil. En la trituradoras tipo Blake, la mandíbula es pivotada en la parte superior y, por lo tanto, tiene un área de entrada fija y una abertura de descarga variable. En trituradoras Dodge, la mandíbula tiene el pivote en la parte inferior, dando un área de admisión variable pero un área de descarga fija. La trituradoras Dodge esta restringida a uso en laboratorio, donde se requiere exactitud en el tamaño de las partículas y nunca se usa para trabajo pesado porque se atora con facilidad.

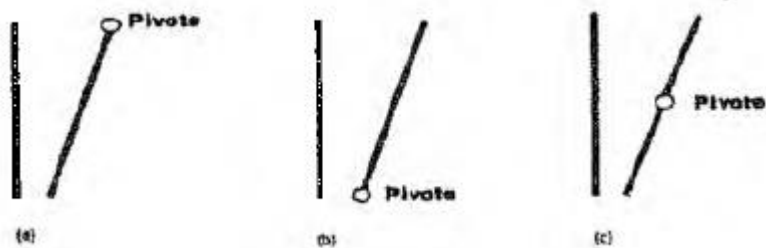
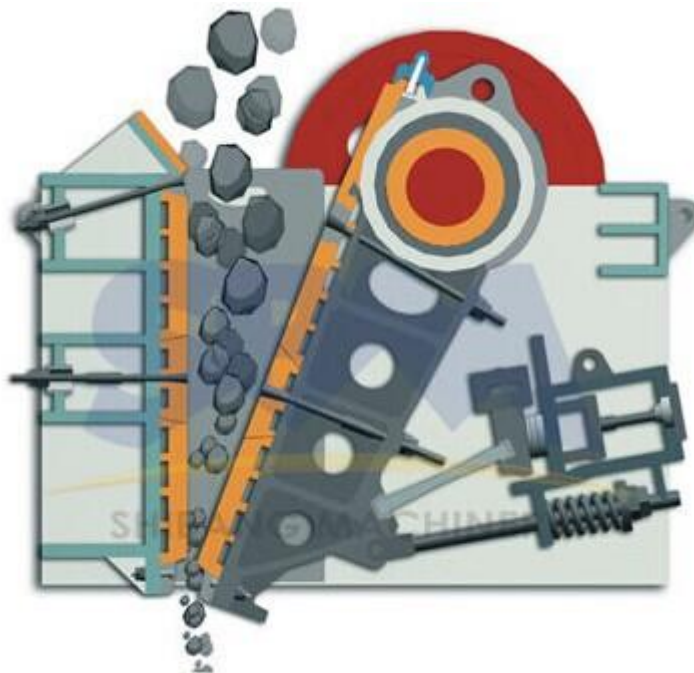


Imagen 1: Tipos de trituradoras de mandíbula según el tipo de movimiento: a) tipo Blake; b) tipo Dodge; c) tipo Universal



ANGULO DE MORDIDA

El ángulo de mordida se define como el ángulo formado entre las caras convergentes de las mandíbulas en los puntos que aprisionan un trozo dado de roca. Si las caras son planas el ángulo de mordida es el mismo a toda profundidad en la cámara de trituración, con caras curvadas, el ángulo aumenta hacia arriba de la garganta. Si el ángulo de mordida es demasiado grande, la componente vertical hacia arriba de la fuerza aplicada puede superar la resultante de las fuerzas hacia abajo del peso y las fuerzas de fricción desarrolladas entre la roca y las mandíbulas lo que producirá el deslizamiento hacia arriba de la roca en vez de su fractura. En la práctica el ángulo de mordida rara vez excede 24° y puede llegar incluso a 18° .

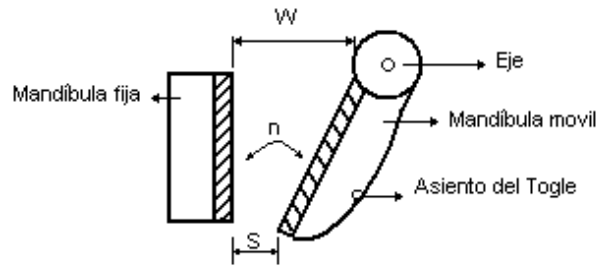
Debe destacarse que este ángulo cambia cada vez que se ajusta la abertura de salida de la máquina.

Considerando un trozo grande de roca que cae en la boca de una trituradora, la roca es comprimida por la mandíbula móvil contra la mandíbula fija. La mandíbula móvil se mueve con una velocidad que depende del tamaño de la máquina y del material que se está procesando. Esta velocidad está directamente relacionada con la velocidad de caída de la roca a través de la máquina. La roca cae hasta que es detenida, la mandíbula móvil se va cerrando. Las mandíbulas se separan y los fragmentos caen. Básicamente debe darse tiempo para que la roca mordida en cada etapa pueda caer por gravedad a una nueva posición donde será de nuevo mordida. Los fragmentos de roca, a medida que se rompen continúan cayendo a nuevos puntos de detención hasta que finalmente se descargan. Durante cada mordida de las mandíbulas la roca aumenta en volumen debido a la creación de intersticios entre partículas, a medida que se desciende en la máquina, la amplitud de oscilación va en aumento, puesto que el mineral va cayendo a una región de la cámara de trituración de sección menor producirá rápidamente atoramiento de la trituradora. Esto acelera el material a través de la trituradora permitiendo su descarga a una velocidad suficiente para dejar espacio para el material que va entrando por arriba.

El tamaño de descarga de la trituradora es controlado por la máxima abertura de la descarga. El desgaste de las mandíbulas produce aumento de la abertura de descarga.

La amplitud del movimiento de la mandíbula varía desde $3/8$ plg en una máquina pequeña a $2\ 1/2$ plg en una máquina grande. Además del tamaño de la

maquina la amplitud depende del material. Es mayor para materiales tenaces, plásticos y menor para materiales más duros y frágiles. A mayor amplitud de movimiento hay menos peligro de atoramiento porque el material sale con mayor rapidez. Amplitudes de movimiento grandes también tienden aumentar los esfuerzos de trabajo de la máquina.



$$\frac{W}{S} = \text{Factor de reducción aparente}$$
$$n = \text{Angulo del NIP}$$

Ejercitación:

1. Se sabe que el grado óptimo de liberación de un mineral de mica-feldespatos se da a los 2 cm. Si el tamaño de mina es de 20 cm, calcule la razón de reducción necesaria para lograr la separación de los 2 minerales. ¿Cuántas etapas de reducción de tamaño serían necesarias considerando que es un mineral muy abrasivo?
2. En una mina de oro, la alimentación a la trituradora de mandíbula tiene un tamaño de 30 cm. Se debe reducir a 15 mm. Calcule la razón de reducción necesaria y el N° de etapas necesarias para lograr el tamaño deseado.
3. Una mina mueve 24000 t de mineral por día. ¿Cuántas trituradoras giratorias se necesitan para procesar el mineral considerando una capacidad de 1000 t/h? El fino de la giratoria sale con un tamaño de 5 cm. Si la giratoria tiene una razón de reducción de 6, ¿Cuál es el tamaño de la alimentación?
4. Un molino SAG reduce desde un tamaño de 25 cm a 0,1 mm. ¿Cuál es la razón de reducción?
5. Si el tamaño de la boca de una trituradora tipo Blake es de 30 cm y el set de 5 cm ¿Cuántos cm debo mover el set para tener una razón de reducción de 8? ¿Cuál es la razón de reducción original?

TRITURADORAS GIRATORIAS

Las trituradoras giratorias son usadas principalmente para trituración primaria, aunque se fabrican unidades para reducción más fina que pueden usarse para trituración secundaria. La trituradora giratoria consiste de un largo eje vertical que tiene un elemento de molienda de acero de forma cónica, denominada cabeza el cual se asienta en un mango excéntrico. El eje está suspendido de una araña y a medida que gira, describe una trayectoria cónica en el interior de la cámara de chancado fija, debido a la acción giratoria del excéntrico. Al igual que en la trituradoras de mandíbula, el movimiento máximo de la cabeza ocurre cerca de la descarga, esto tiende a aliviar el atorado.

El eje está libre para girar en torno a su eje de rotación en el mango excéntrico, de modo que durante la trituración los trozos de roca son comprimidos entre la cabeza rotatoria y los segmentos superiores del casco.

Debido a que la trituradora giratoria tritura durante el ciclo completo, su capacidad es mayor que la de una trituradora de mandíbulas de la misma boca y generalmente se prefiere en aquellas plantas que tratan tonelajes grandes de material.

Las trituradoras giratorias grandes frecuentemente trabajan sin mecanismos de alimentación y se alimentan directamente por camiones. Si la alimentación contiene demasiados finos puede que haya que usar un harnero de preclasificación (grizzly) pero la tendencia moderna en las plantas de gran capacidad es trabajar sin grizzlies si el mineral lo permite.

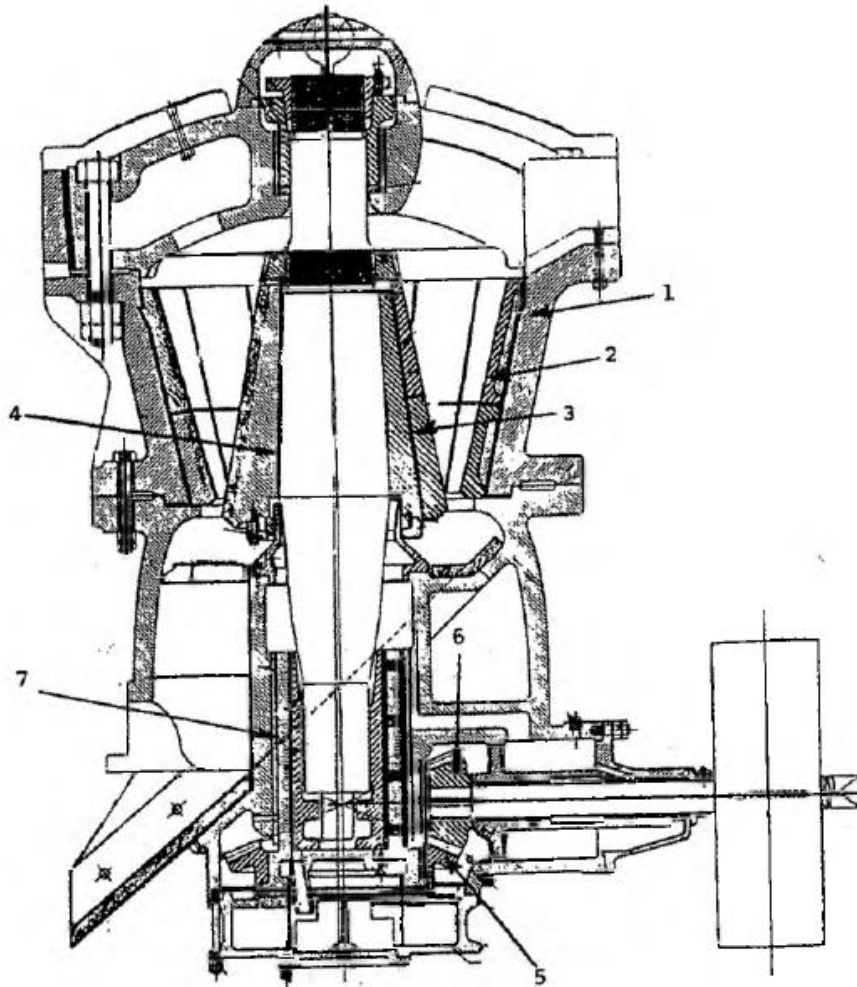


Imagen 2: Sección transversal de una trituradora giratoria. (1) Bastidor principal, (2) Cóncavos, (3) Manto, (4) Eje principal, (5) Engranaje, (6) Piñón, (7) Excéntrico.

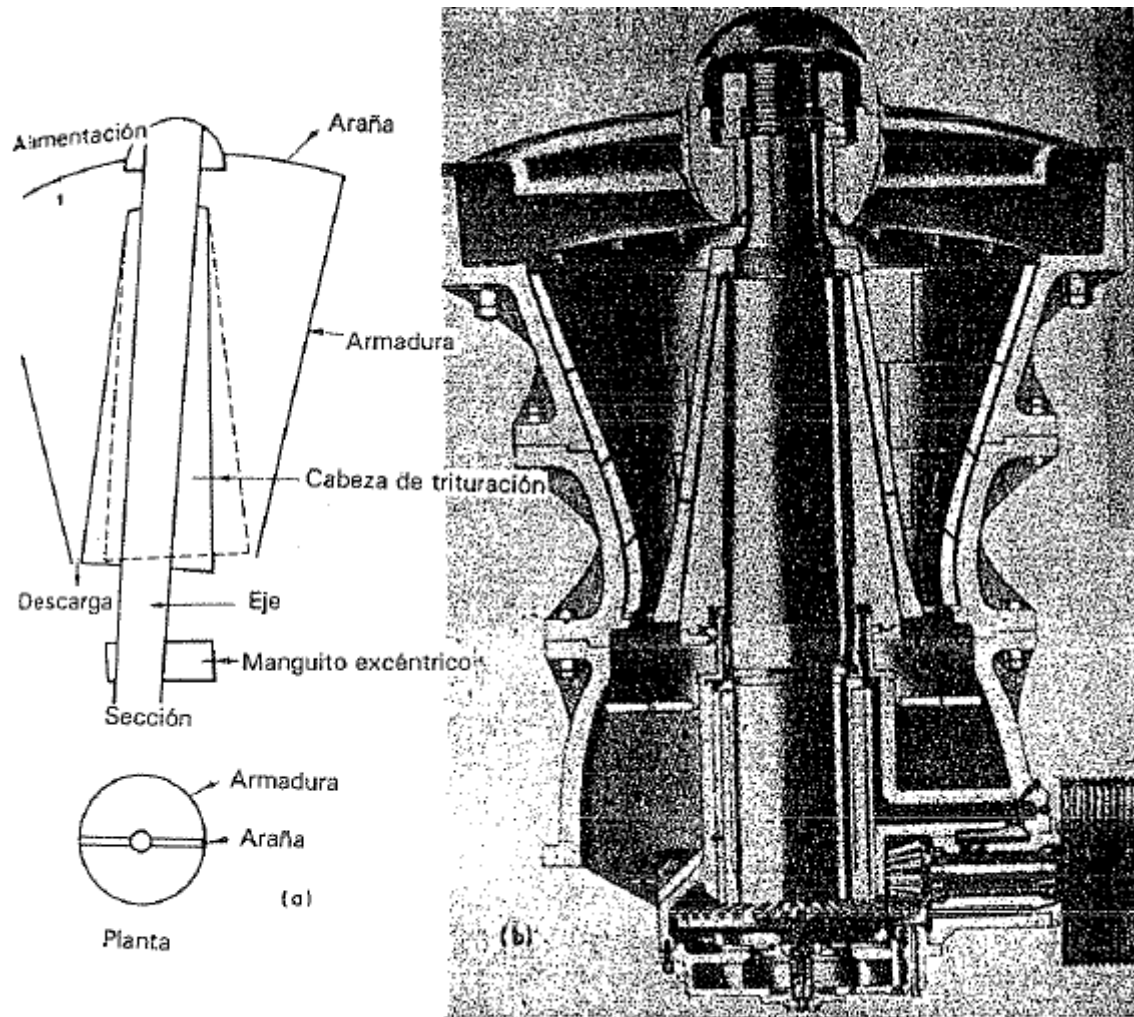
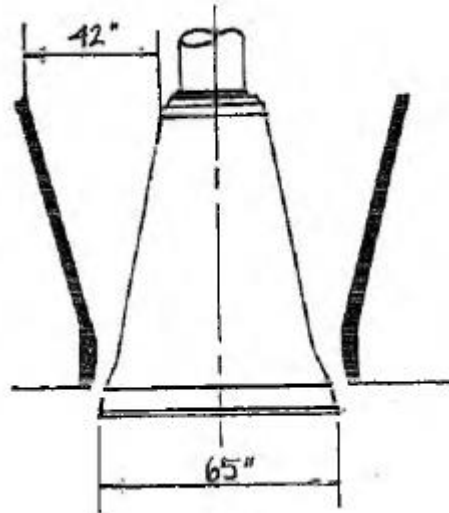


Figura 6.9 Trituradora giratoria a) Diagrama funcional. b) Sección transversal.

El casco exterior de la trituradora es construido de acero fundido o placa de acero soldada. El casco de trituración está protegido con revestimientos cóncavos de acero al manganeso o de hierro fundido blanco reforzado. La cabeza está protegida con un manto de acero al manganeso.

El mango excéntrico, en el cual calza el eje, está hecho de acero fundido con revestimientos reemplazables de bronce.

El tamaño de las trituradoras giratorias se especifican por la boca (ancho de la abertura de admisión) y el diámetro del manto. El ángulo de mordida en este tipo de trituradoras normalmente es mayor que al de mandíbulas, generalmente 25° .



COMPARACION ENTRE TRITURADORAS PRIMARIAS

Al decidir entre una trituradora de mandíbula y una giratoria para una aplicación particular el principal factor es el tamaño máximo del mineral que deberá tratar la trituradora y la capacidad requerida.

Las trituradoras giratorias en general se usan cuando se requiere alta capacidad. Debido a que trituran durante el ciclo completo son más eficientes que las chancadoras de mandíbula.

La trituradora de mandíbula tiende a ser usada cuando la boca de la chancadora es más importante que la capacidad. Por ejemplo, si se requiere triturar material de cierto diámetro máximo, entonces una giratoria que tenga el tamaño de boca requerido tendrá una capacidad aproximada de tres veces la de una trituradora de mandíbula de la misma boca.

Si se requiere alta capacidad, entonces la giratoria es la más adecuada. Sin embargo, si se necesita una gran boca, pero no capacidad, entonces la chancadora de mandíbula probablemente será más económica, ya que es una máquina más pequeña y la giratoria estaría corriendo ociosa la mayor parte del tiempo.

Los costos de capital y mantenimiento de una trituradora de mandíbula son ligeramente menores que las de una giratoria, pero estos pueden ser compensados por los costos de instalación, que son menores en la giratoria, puesto que ocupa cerca de $2/3$ del volumen y tiene aproximadamente $2/3$ del peso de una trituradora de mandíbula, que necesitan ser más robustas debido a

los esfuerzos alternados de trabajo. El tipo de material a tratar puede determinar también el tipo de trituradoras a usar. Las trituradoras de mandíbula se comportan mejor que las giratorias con materiales arcillosos y plásticos, debido a la mayor amplitud de movimiento de la mandíbula. Las giratorias han mostrado ser particularmente adecuadas para material duro y abrasivo.

Debido a la simplicidad de la cámara de trituración en la trituradora de mandíbulas, el reemplazo de los revestimientos es relativamente rápido y barato. Además, los revestimientos normalmente son reversibles.

TRITURADORAS SECUNDARIAS Y TERCIARIAS

Las trituradoras secundarias son más livianas que las maquinas primarias, puesto que toman el producto triturado en la etapa primaria como alimentación. El tamaño máximo normalmente será menor de 6 o 8 plg de diámetro y, puesto que todos los constituyentes dañinos que vienen en el mineral desde la mina, tales como trozos metálicos, madera, arcilla y barro han sido ya extraídos, es mucho más fácil de manejar. Las trituradoras secundarias también trabajan con alimentación seca y su propósito es reducir el mineral a un tamaño adecuado para molienda o trituración terciaria si es el que el material lo requiere.

Las trituradoras usadas en trituración secundaria y terciaria son esencialmente las mismas excepto que para trituración terciaria se usa una abertura de salida menor. La mayor parte de la trituración secundaria y terciaria (trituración fina) de minerales se realiza con trituradoras de cono, aunque también molinos de martillo para ciertas aplicaciones.

TRITURADORA DE CONO

La trituradora de cono es una trituradora giratoria modificada. La principal diferencia es el diseño de la cámara de trituración para dar alta capacidad y alta razón de reducción del material. El objetivo es retener el material por más tiempo en la cámara para realizar mayor reducción de este en su paso por la máquina. El eje vertical de la trituradora de cono es más corto y no está suspendido como en la giratoria, sino que es soportado bajo la cabeza giratoria o cono.

Puesto que no se requiere una boca tan grande, el casco de trituración se abre hacia abajo lo cual permite el hinchamiento del mineral a medida que se reduce de tamaño proporcionando un área seccional creciente hacia el extremo de descarga. La inclinación hacia afuera del casco permite, tener un ángulo de la cabeza mucho mayor que en la trituradora giratoria, reteniendo al mismo tiempo el mismo ángulo entre los miembros de trituración. Esto da a la trituradora de cono alta capacidad, puesto que la capacidad de una trituradora giratoria es proporcional al diámetro de la cabeza.

La amplitud de movimiento de una trituradora de cono puede ser de hasta 5 veces la de una trituradora primaria que debe soportar mayores esfuerzos de trabajo. También operan a mucho mayor velocidad. El material que pasa a través de la trituradora está sometido a una serie de golpes tipo martillo en vez de una compresión lenta como ocurre con la cabeza de la trituradora giratoria que se mueve lentamente.

La acción de la alta velocidad permite a las partículas fluir libremente a través de la trituradora y el recorrido amplio de la cabeza crea una gran abertura entre ella y el casco cuando está en la posición completamente abierta. Esto permite que los finos triturados sean descargados rápidamente, dejando lugar para alimentación adicional. La figura muestra un esquema representativo de lo que ocurre en la cámara de trituración al entrar mineral la descarga rápida y características de no atoramiento de la trituradora de cono permite una razón de reducción en el rango 3 -7 : 1, pudiendo ser mayor en algunos casos.

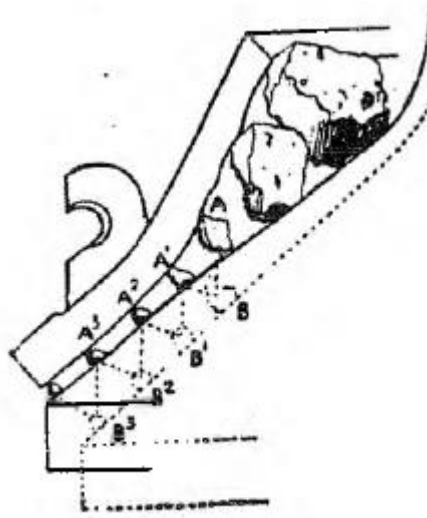


Imagen 3: Esquema de la fractura de partículas en cámara de trituración de una trituradora de cono. La línea punteada indica posición abierta y la línea llena, posición cerrada.

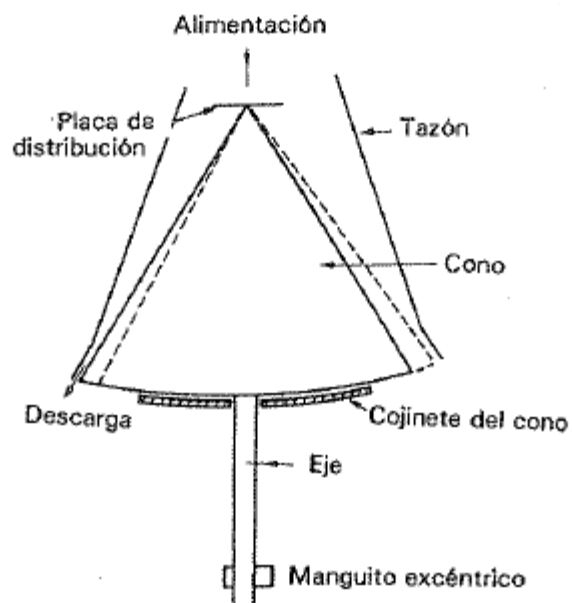
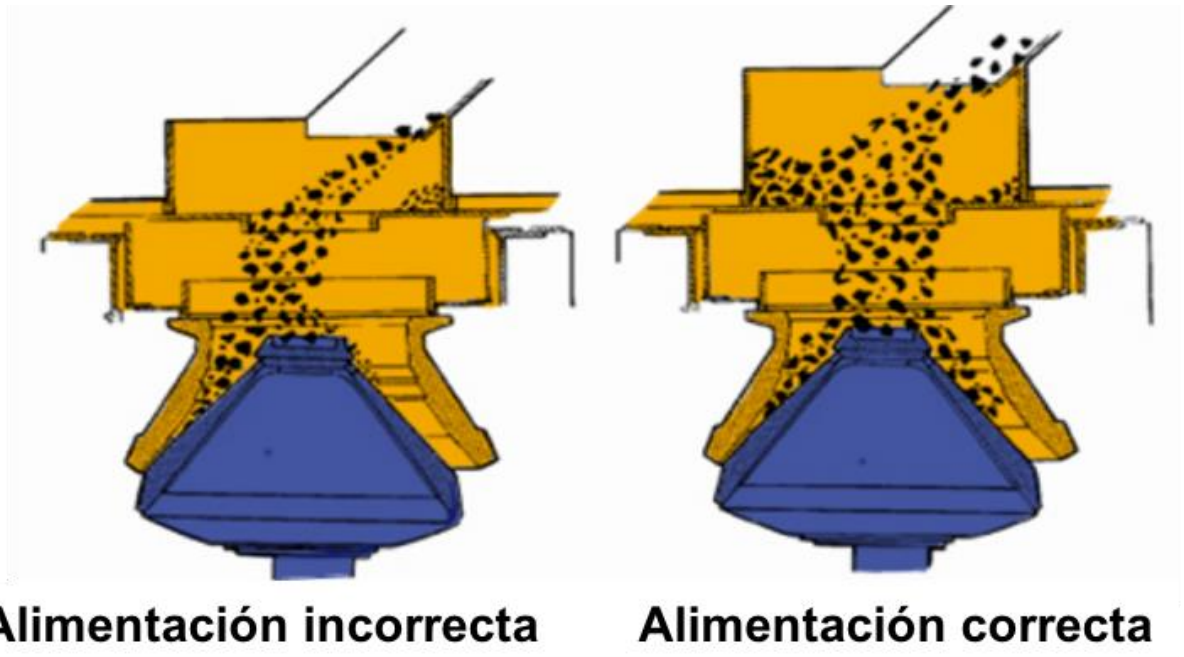


Figura 6.13 Sección transversal funcional de una trituradora de cono.

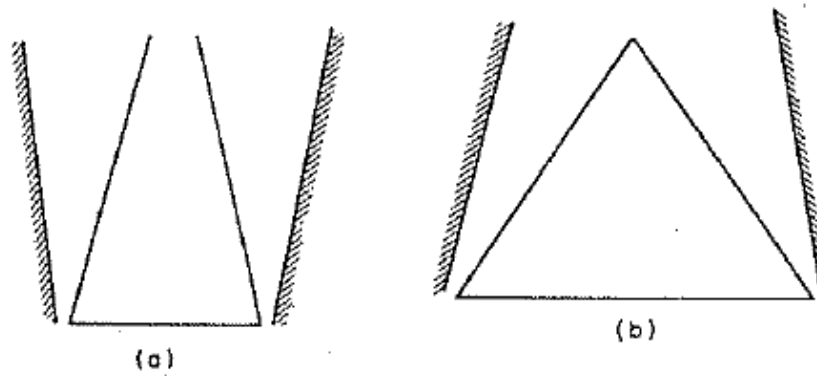


Figura 6.14 Formas de cabeza y tazón de la trituradora giratoria a) y de cono b).

TRITURADORAS DE IMPACTO

En esta clase de trituradora, la reducción de tamaño es por impacto en vez de compresión, por rápidos golpes aplicados a alta velocidad a la roca en caída libre.

Las partes móviles son golpeadores que transfieren parte de su energía cinética a las partículas que se ponen en contacto con ellos. Los esfuerzos internos creados en las partículas son generalmente lo suficientemente grandes para romperlas. Estas fuerzas son aumentadas haciendo a las partículas impactar contra placas de ruptura.

Hay una importante diferencia entre el estado del material triturado por presión y por impacto. En el material fracturado por presión hay esfuerzos internos que pueden causar el agrietamiento del material en un tiempo posterior. El impacto causa fractura inmediata sin esfuerzos residuales. Esta condición libre de esfuerzos es particularmente valiosa en rocas usadas para fabricar ladrillos, edificaciones y caminos, en los cuales se agregan subsecuentemente agentes ligantes a la superficie, tales como bitumen.

Por consiguiente, las trituradoras de impacto tienen mayor uso en las canteras que en la industria minera, aunque pueden usarse en estas últimas con menas que tienden a ser plásticas cuando la fuerza se aplica lentamente como ocurre con las trituradoras de mandíbula y giratorias. Estos tipos de mena tienden a ser frágiles cuando la fuerza se aplica en forma instantánea con trituradoras de impacto.

La figura, muestra un corte transversal de un molino de martillos típico. Los martillos son hechos de acero al manganeso o más recientemente, fierro fundido

nodular, conteniendo carburo de cromo, el cual es extremadamente resistente a la abrasión. Las placas de ruptura son del mismo material.

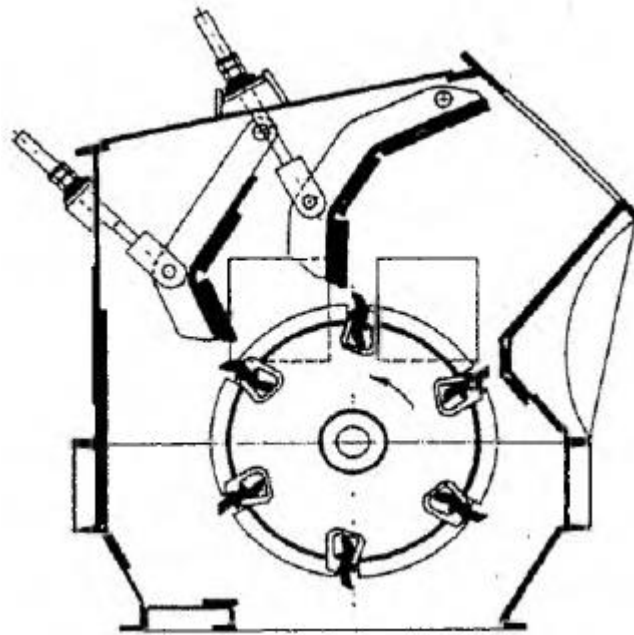


Imagen 4: Molino de martillos

Los martillos están pivotados de modo que pueden dejar paso libre al material sobre tamaño o trozos de metales que entren a la cámara de trituración. Martillos pivotados tienden a ejercer menos fuerza de lo que harían si estuvieran unidos rígidamente, de modo que tienden a usarse en trituradoras de impacto más pequeñas o para chancar material más blando. La salida del molino es perforada, de modo que el material que no se rompe al tamaño requerido es retenido y levantado de nuevo por el rotor para ser impactado de nuevo.

La fractura se debe a la severidad del impacto o al impacto subsecuente con la carcasa o rejilla. Como las partículas adquieren alta velocidad, la reducción de tamaño es por atrición es decir fractura de partícula contra partícula y esto conduce a poco control en el tamaño del producto y una proporción de finos mucho mas alta que con las trituradoras por compresión.

Debido a la alta velocidad de desgaste de estas máquinas su uso está limitado a materiales relativamente no abrasivos. Tienen gran uso en la trituración de caliza y de carbón. Una gran ventaja para las canteras es el hecho que producen un muy buen producto cubico.

Para trituración más gruesa se usa el molino de impacto con martillos fijos. En estas máquinas el material cae tangencialmente en un rotor, recibiendo un rápido impulso que los envía girando hacia las placas de impacto.

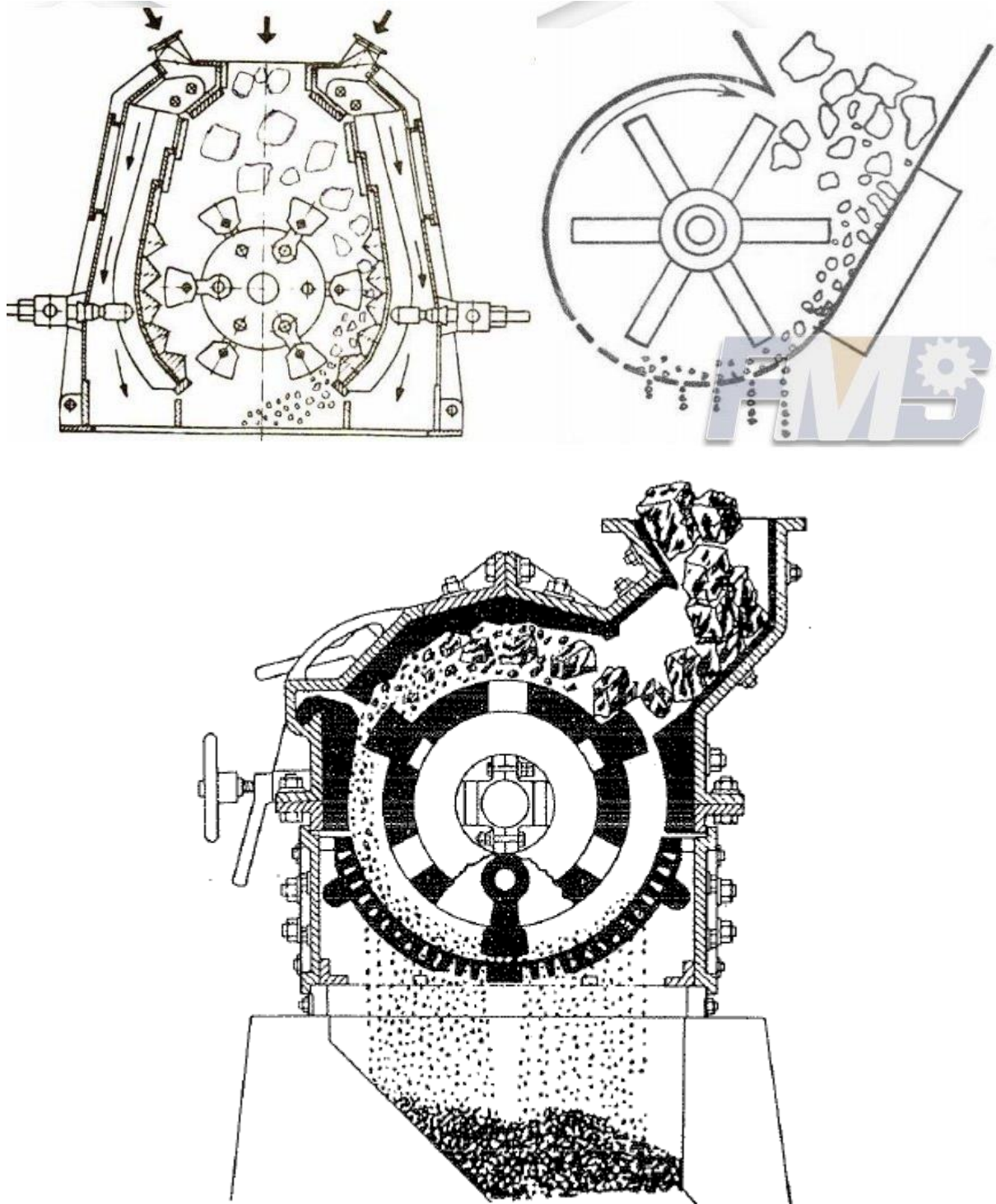


Figura 6.24 Molino de martillos.