

Industrias I

72.02 – 92.02

Trituración (v. 1/2015)

2 TRITURACIÓN

2.1	GENERALIDADES	4
2.1.1	<i>Etapas de Trituración</i>	4
2.1.2	<i>Tamaños de Partículas</i>	5
2.1.3	<i>Grado de Desintegración</i>	6
2.1.4	<i>Características de las Rocas</i>	7
2.1.5	<i>Teoría General de la Desintegración</i>	8
2.2	LEYES DE DESINTEGRACIÓN	8
2.2.1	<i>Leyes de Distribución Granulométrica</i>	8
2.2.2	<i>Leyes Energéticas</i>	9
2.3	TRITURADORAS	12
2.3.1	<i>Trituradoras de Mandíbulas</i>	12
2.4	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TRITURADORAS	24
2.5	COMPARACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE TRITURADORAS	25
2.5.1	<i>Aspectos Generales</i>	25
2.5.2	<i>Comparación entre Trituradoras</i>	26
2.6	BIBLIOGRAFÍA	27

2 TRITURACIÓN

2.1 GENERALIDADES

Para el tratamiento industrial de rocas y minerales, es necesario practicar una preparación de los mismos y dentro de esa preparación normalmente se requiere efectuar una reducción de tamaño.

Las operaciones mediante las que se efectúan dichas reducciones de tamaño por medios físicos se denominan **trituración y molienda**. Estas operaciones son de aplicación habitual en los procesos industriales, tal como puede observarse en el proceso de fabricación del cemento Portland en el *Capítulo I - Minerales de Uso Industrial*.

Las operaciones citadas se realizan con el objeto de facilitar el transporte de los materiales, las operaciones físicas (tales como mezclado, dosificación, aglomeración o disolución) y facilitar o permitir las reacciones químicas (como consecuencia de que la velocidad de reacción es función de la superficie de las partículas y es tanto más grande cuanto mayor es su grado de subdivisión).

Si bien no existe una diferencia clara entre la trituración y la molienda, en general se habla de trituración cuando se fragmentan partículas de tamaños superiores a 1 pulgada (1") y de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1" (1" = 2.54 cm).

NOTA: Se utilizarán unidades métricas e inglesas pues es común en el desarrollo de la materia la utilización de manuales y catálogos con valores expresados en unidades inglesas.

La trituración es también denominada desintegración y las máquinas que la producen se conocen según diversos autores como **tritadoras, desintegradoras, quebrantadoras o machacadoras**.

2.1.1 Etapas de Trituración

La desintegración se realiza en distintas etapas y en una gran diversidad de máquinas. Se identifica como etapa de trituración primaria cuando el material extraído de la cantera se trata en una trituradora. Si de allí el material producido pasa a una segunda trituradora, en esta se efectúa la trituración secundaria. Si sigue triturándose en otra máquina, la terciaria, y así sucesivamente.

2.1.2 Tamaños de Partículas

Tanto el mineral o roca extraído de cantera como el que a sufre una o más etapas de reducción, se puede clasificar de acuerdo a su tamaño. En general, se clasifican de la siguiente forma:

- Material grueso: trozos de un tamaño mayor a 75 cm (30").
- Material mediano: trozos de un tamaño de 10 a 75 cm (4" a 30").
- Material fino: trozos de un tamaño menor a 10 cm (4")

Por otra parte, según el tamaño que tienen las partículas a la salida de las máquinas de desintegración, se pueden distinguir las distintas etapas de trituración y molienda. Seguidamente se detallan las mismas:

a) Trituración (desintegración grosera)

- **Trituración gruesa – tamaños de partículas de salida:** 15 cm (6").
- **Trituración mediana – tamaños de partículas de salida:** entre 3 y 15 cm (1¼" a 6").
- **Trituración fina – tamaños de partículas de salida:** entre 0.5 y 3 cm (1/5" a 1¼").

b) Molienda (desintegración fina)

- **Molienda grosera – tamaños de partículas de salida:** entre 0.1 y 0.3 mm.
- **Molienda fina – tamaños de partículas de salida:** menores de 0.1 mm.

La trituración grosera, mediana y fina corresponden, prácticamente, a la primera, segunda y tercera etapa de trituración; mientras que la molienda grosera y fina corresponden a las etapas primaria y secundaria de la molienda.

Los tamaños de partículas se establecen en base a los diámetros de las mismas. Para un trozo de material se puede determinar, midiendo el ancho, espesor y largo del mismo, la media aritmética o geométrica del diámetro de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$\text{Diámetro de partícula} = \frac{\text{Ancho} + \text{Espesor} + \text{Largo}}{3}$$

$$\text{Diámetro de partícula} = \sqrt[3]{\text{Ancho} \cdot \text{Espesor} \cdot \text{Largo}}$$

En realidad, los trozos de materiales constituyen conjuntos de diversos tamaños, por consiguiente resultaría imposible, desde el punto de vista industrial, practicar las mediciones señaladas anteriormente.

En la industria, lo que se hace es clasificar los trozos con una serie de tamices (o zarandas) y, de acuerdo a los tamaños de los agujeros de los tamices, se le equiparan a las partículas dichos tamaños según pasen o no cada tamiz. Posteriormente, el tamaño medio de la muestra se calcula con la siguiente expresión:

$$D = \frac{\sum_i D_i \cdot k_i}{\sum_i k_i}$$

Donde:

D: Diámetro medio de las partículas.

D_i : Tamaños de los agujeros de cada tamiz.

k_i : Cantidades (en peso) de partículas que pasan cada tamiz.

Estos conceptos se profundizarán y aclararán durante el desarrollo del **Capítulo IV Separación de sólidos de sólidos**.

2.1.3 Grado de Desintegración

El coeficiente de reducción que se obtiene en las máquinas de trituración (trituradoras) o de molienda (molinos) se denomina grado de desintegración y se define como la relación entre los tamaños **máximos** de las partículas a la entrada y salida de la máquina.

El grado de desintegración (Σ) se expresa de la siguiente manera:

$$\Sigma = \frac{D_{inicial}}{D_{final}}$$

El grado de desintegración en trituración se encuentra acotado entre 2 y 15.

$$2 \leq \Sigma_{trituracion} \leq 15$$

Con frecuencia, la capacidad de reducción de una trituradora o molino será insuficiente para asegurar la desintegración total deseada, por lo que se hará necesario efectuarla en dos o más etapas. Para ello se colocan trituradoras o molinos en serie, de modo tal que el mineral extraído del yacimiento alimenta una trituradora (o molino) primario, y la descarga de esta alimenta la trituradora (o molino) secundario, y así sucesivamente llamándose las etapas posteriores terciaria, cuaternaria, etc.

Este modo de disposición de maquinarias no solo es utilizado para obtener un mayor grado de reducción en el mineral, sino que también es utilizado por empresas que comercializan mineral triturado para optimizar la obtención porcentual de un determinado intervalo de granulometría.

2.1.4 Características de las Rocas

Las características de las rocas nos dan una idea general acerca del comportamiento esperado en las operaciones de trituración y molienda. Las características más relevantes son: dureza, resistencia a los distintos esfuerzos, peso específico, grado de humedad, forma y tamaño del grano, etc.

La dureza, por ejemplo, determina el procedimiento de desintegración a seguir. Los materiales se clasifican en:

- Muy duros (diamante).
- Duros (granito, cuarzo).
- Medios (caliza, dolomita).
- Blandos (yeso, talco).

Los muy duros y duros conviene que sean desintegrados por trituradoras que trabajen al aplastamiento y choque. Los medios y blandos también pueden ser tratados por maquinas que trabajen al frotamiento y al aplastamiento.

El grado de humedad es otra característica importante dado que permite decidir, en molienda, por ejemplo, el tipo a utilizar, seca o húmeda, e incluso el molino más conveniente.

El peso específico de una roca varia con el tamaño de partícula (dado que el utilizado es el denominado peso específico aparente), por lo que permite calcular las capacidades reales de producción de trituradoras y molinos en función de los volúmenes a tratar y el grado de desintegración requerido.

2.1.5 Teoría General de la Desintegración

Desde hace más de un siglo, la desintegración ha sido objeto de investigaciones teóricas, fundamentalmente, con el fin de determinar el trabajo necesario para desintegrar las partículas.

En términos generales, se puede decir que las leyes y teorías existentes están superadas dado que las mismas consideraban que el proceso era puramente mecánico. En realidad se ha determinado que se trata también de un proceso cinético donde influye en forma importante el estado físico-químico de los sólidos.

En la actualidad se puede decir que todavía no existe una teoría general satisfactoria. No obstante, como algunas leyes dan una aproximación, al menos parcial, de los fenómenos reales, a continuación se darán las principales existentes.

2.2 LEYES DE DESINTEGRACIÓN

Las leyes de la desintegración se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Leyes de distribución granulométrica.
- Leyes energéticas.

2.2.1 Leyes de Distribución Granulométrica

Se ha comprobado que resulta imposible obtener, por medio de la trituración, partículas que, en su totalidad, sean de volumen (tamaño) igual y uniforme.

El material producido es de distintas dimensiones, repartiéndose de acuerdo a curvas bien definidas denominadas curvas **granulométricas**.

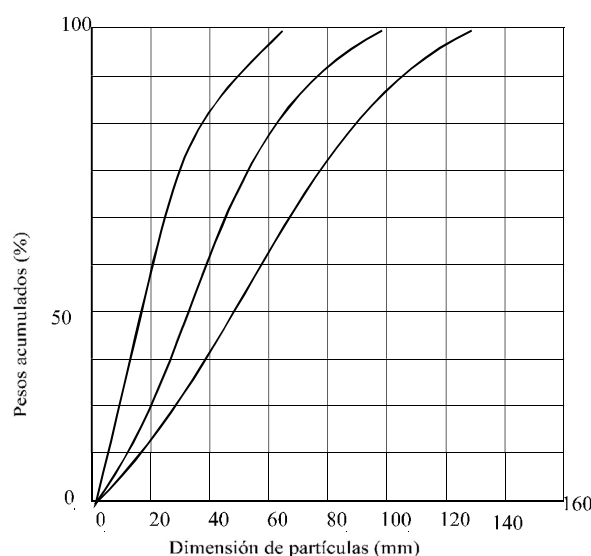


Figura Nº 1. Curvas granulométricas.

El profesor Gaudin estudiando el comportamiento de los materiales en la desintegración enuncio lo siguiente:

- a) El porcentaje de material fino aumenta a medida que aumenta el grado de desintegración. Varias etapas de trituración producen menor cantidad de materiales muy finos (ultra finos) que la trituración equivalente en una sola etapa.
- b) La trituración de trozos planos produce más material fino que la de trozos en forma regular.
- c) La forma media de los granos triturados varia con la ubicación en la escala de tamizado. Los granos gruesos y finos (los extremos) son alargados, mientras que los medios tienen forma más cúbica.

2.2.2 Leyes Energéticas

Dentro del consumo de energía destinado a la trituración de materiales solo un 2% aproximadamente produce la aparición de nuevas superficies, el resto se pierde en deformación plástica de las partículas, deformación de las partes metálicas de la maquinaria, fricciones entre partículas, rozamiento de las partículas con las paredes de la maquinaria, calor, ruido y vibraciones.

La ley energética general que enuncia la relación existente entre el aporte necesario de energía y la reducción de tamaño obtenida expresa que la energía necesaria para una determinada desintegración es proporcional exponencialmente al tamaño de la partícula:

$$\frac{dE}{dL} = -c \cdot L^p$$

Donde:

dE: Diferencial de energía

dL: Diferencial de elongación.

c: Constante de proporción.

L: Longitud.

p: Constante en función del tipo de material.

Existen variantes de esta Ley que se adaptan mejor a determinadas condiciones de trabajo: la Ley de Rittinger, enunciada en el año 1867 y que se basa en la hipótesis de las superficies de las partículas; la de Kick, expresada en el año 1885 y que se basa en una hipótesis volumétrica y la teoría de Bond, del año 1951.

2.2.2.1 Ley de Rittinger

Esta ley, cuya explicación responde bastante bien a la desintegración de productos finos expresa:

“El trabajo necesario para una desintegración es proporcional al aumento de superficie producida”.

$$W = z \cdot \Delta S$$

Donde:

W: Trabajo de desintegración.

z: Energía superficial específica.

S: Aumento de superficie producido en la desintegración.

Otra forma de expresar esta ley es la siguiente:

“Los trabajos producidos en la desintegración son inversamente proporcionales a los tamaños de los granos producidos”

$$\frac{W_m}{W_n} = \frac{D_n}{D_m}$$

2.2.2.2 Ley de Kick

Esta ley responde, con bastante aproximación, a la desintegración de productos gruesos y expresa lo siguiente:

“El trabajo absorbido para producir cambios análogos en la configuración de cuerpos geoméricamente semejantes y de la misma materia varia con el volumen o la masa”

$$\frac{W_m}{W_n} = \frac{V_m}{V_n} = \frac{M_m}{M_n}$$

Otra forma de expresión es la siguiente:

$$W = B \cdot \log \frac{D_i}{D_f}$$

Donde:

W: Trabajo de desintegración.

V: Volumen.

M: Masa.

B: Constante.

D: Tamaño (i: inicial; f: final).

2.2.2.3 *Desviaciones de las Leyes de Rittinger y Kick*

Las desviaciones que presentan en la práctica ambas leyes se deben a lo siguiente:

- a) Se partía del principio de que la desintegración produce productos de igual forma que los iniciales (isostenia), es decir, que al desintegrar partículas de forma cúbica se producían cubitos o si se partía de esferas se producían esferitas. Este principio no es válido.
- b) Se suponía que los materiales son isótropos (igual resistencia en todas direcciones (anisotropía)).
- c) No se consideraba que los productos a desintegrar pueden tener grietas superficiales (lugares donde se comienza a desintegrar el material sin consumo de energía).
- d) No se tuvieron en cuenta ni las deformaciones elásticas, ni que el producto se mueve dentro de la maquina, lo que produce rozamientos calor del material, etc.
- e) No se consideraba que la materia ya molida amortigua el golpe de la maquina contra la materia aun no molida.

2.2.2.4 *Teoría de Bond*

Esta teoría se ajusta con bastante aproximación a la desintegración de minerales por vía húmeda; se expresa de la siguiente forma:

“El trabajo de romper una roca es el necesario para sobrepasar su deformación crítica y que aparezcan grietas de fractura; luego la fractura se reduce sin aportes apreciables de energía”.

La expresión es la siguiente:

$$W = W_i \cdot \sqrt{\frac{100}{D_f}} \cdot \left(\frac{\sqrt{D_i} - \sqrt{D_f}}{\sqrt{D_i}} \right)$$

Donde:

W_i : Índice energético del material (KWh por tonelada necesarios para reducir un material desde un tamaño infinito hasta que el 80% pase por el tamiz de 100 (10^{-6} m).

D_i y D_f : Tamaño inicial y final de las partículas.

W : Trabajo de desintegración.

2.3 TRITURADORAS

Existe una gran cantidad de trituradoras de distinto tipo, las que permiten efectuar el trabajo de desintegración en la preparación de rocas y minerales. Conforme al tipo de trituradora y a los esfuerzos a los que someten a las rocas se utilizan unas u otras con sus ventajas técnico-económicas propias de cada una.

Seguidamente se consideraran solo aquellas que se estiman más importantes y de aplicación más generalizada.

En el cuadro siguiente se detallaran los tipos de trituradora a considerar:

Trituradoras	2.3.1 De mandíbulas	2.3.1.1 De acción periódica
		2.3.1.2. De acción continua
	2.3.2 De cilindros	2.3.2.1. Fijos
		2.3.2.2. Móviles
	2.3.3 De martillos	2.3.3.1. Rígidos (fijos)
		2.3.3.2. Locos o articulados

La clasificación anterior se hace basándose en el elemento de las máquinas que efectúa la desintegración, mandíbulas, cilindros o martillos.

2.3.1 Trituradoras de Mandíbulas

Las trituradoras de mandíbulas comprenden las denominadas de acción periódica, conocidas, generalmente como “Trituradoras de mandíbulas” y las de acción continua, llamadas mas comúnmente “Trituradoras giratorias” o “Trituradoras cónicas”.

Ambos tipos de trituradoras de mandíbula trabajan (desintegran) fundamentalmente por el efecto de aplastamiento (compresión) y, en menor grado, por la flexión, predominando este ultimo efecto mas en las de acción continua.

Estas trituradoras se denominan de mandíbulas pues desintegran rocas y minerales en forma similar a la masticación que ejerce el ser humano sobre los alimentos.

Las trituradoras de mandíbulas (nos referiremos en adelante a las de acción periódica en estos términos), se utilizan principalmente para la desintegración de material grueso, produciendo material irregular, puntiagudo y con aristas. Generalmente se utilizan en trituración primaria y, eventualmente, en trituración secundaria.

Las trituradoras giratorias o cónicas (en adelante nos referiremos a las de acción continua en estos términos), se utilizan en trituración primaria, secundaria y terciaria.

2.3.1.1 Trituradoras de Acción Periódica. Trituradoras de Mandíbulas

Existen cuatro tipos de trituradoras de mandíbulas: las de doble efecto (tipo Blake), las de simple efecto (tipo Dalton), la tipo Lyon y la tipo Dodge. Las dos primeras son de uso más generalizado.

Trituradoras tipo Blake (Doble efecto)

La trituradora tipo Blake cuenta con dos mandíbulas (ver *Figura N°2*), una fija (7) y una móvil (5), que son las que producen la desintegración de las rocas con un movimiento de masticación. La mandíbula móvil se acerca y aleja de la fija pivoteando en un punto superior de suspensión (10). El movimiento de la mandíbula se logra por el accionamiento de un motor, que se acopla a través de correas, con un eje (1). En forma excéntrica al eje (2) va acoplada una biela (3) que merced a la excentricidad, sube y baja. Dicha biela, en su parte inferior tiene una articulación, a las que van unidas dos riostras (4) (o placas riostras). Dichas riostras se unen, en el extremo opuesto a la articulación, una a la mandíbula móvil (en su parte inferior) y la otra a un apoyo fijo. Al subir la biela, arrastra hacia arriba las riostras, horizontal izándolas y haciendo mover el extremo inferior de la mandíbula móvil hacia la fija. Cuando la biela baja, arrastra a las riostras hacia abajo y la mandíbula móvil se aleja de la fija. De esta forma, alternativamente, la mandíbula móvil se acerca y aleja de la fija. Cuando se acerca comprime las rocas que se encuentran en el interior de la maquina; cuando se aleja las piedras van cayendo por gravedad. Las rocas a triturar ingresan por la boca de carga, en la parte superior (9) y salen de la maquina por la parte inferior (8) por gravedad. Durante su recorrido se van desintegrando.

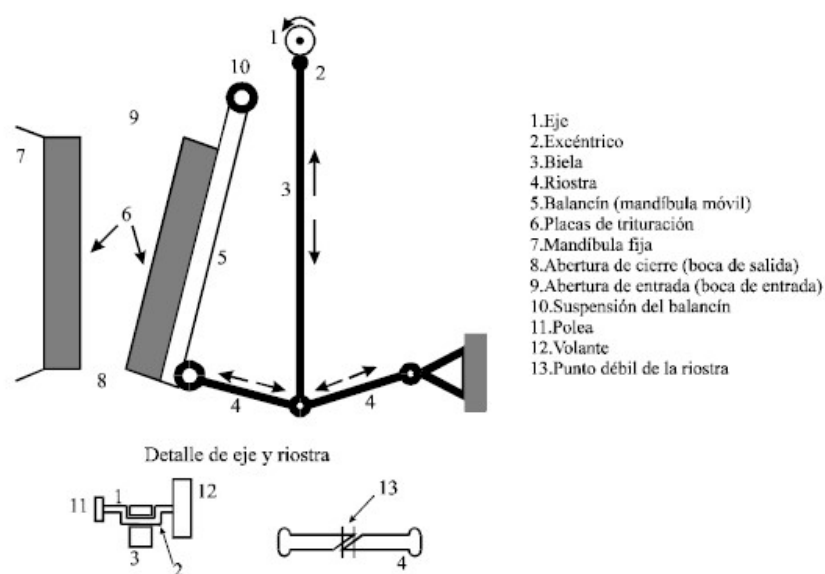
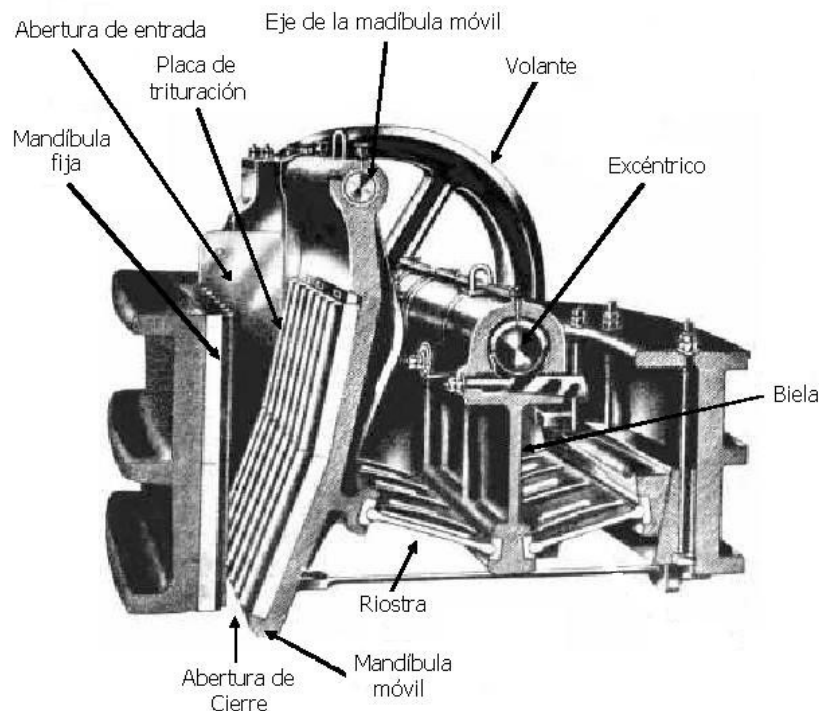


Figura N° 2. Esquema Trituradora tipo Blake.**Figura N° 3.** Corte Trituradora tipo Blake.

Las principales partes de las maquinas son las siguientes:

- a) Las mandíbulas, que cuentan con placas de recubrimiento llamadas placas de trituración (6), que pueden ser lisas u onduladas (estas permiten ejercer el esfuerzo de flexión sobre las rocas).
- b) El eje (1), que cuenta en un extremo con una polea (donde se acoplan las correas que transmiten el movimiento del motor al eje) y en el extremo opuesto con un volante de gran masa que ejerce la función de acumulador de energía, cuando la mandíbula móvil se aleja de la fija (no tritura), la que devuelve cuando la móvil se acerca a la fija (tritura).
- c) La biela, que transmite el movimiento del eje a las riostras que mueven la mandíbula móvil.

Las riostras, además de transmitir el movimiento, sirven como fusibles del sistema. Tienen algún punto de la pieza de menor resistencia que el conjunto que hace que cuando la maquina realice un esfuerzo superior al previsto en su dimensionamiento, se rompa la riostra en su punto débil y evite la rotura de la maquina.

La abertura de salida del material (8) (abertura de cierre), puede regularse acortando o alargando la riostra que está unida al apoyo fijo.

La abertura de cierre tiene dos tamaños extremos, la denominada abertura de cierre mínimo (es el momento en que el giro del eje hace que la mandíbula móvil esté más cerca

de la fija) y la abertura de cierre (máximo) que es cuando el eje giro 180° de la anterior posición, es decir, cuando la mandíbula móvil está más alejada de la fija. Las rocas trituradas saldrán en una diversidad de tamaños acotados por las aberturas de cierre mínimo y máximo.

En general, cuando nos referimos en adelante al término “abertura de cierre” nos estaremos refiriendo a la abertura de cierre mínimo que es la que habitualmente se mide. En la medida que se varia en una maquina la abertura de cierre, se estarán variando los tamaños de salida de sus productos y, por consiguiente, su grado de desintegración. Las maquinas tendrán distintas curvas granulométricas del material producido, uno por cada abertura de cierre empleada.

El bastidor de la trituradora está formado por una especie de cajón rectangular que puede estar construido en fundición de alta resistencia, de acero moldeado o de chapas y perfiles laminados y soldados. Las mandíbulas están protegidas por placas de trituración (placas de desgaste) y construidas en acero al manganeso, las que se reemplazan periódicamente en función del desgaste.

El resto de las piezas suelen ser construidas en acero moldeado o acero duro. El eje suele ir montado sobre cojinetes de rodillos.

Trituradoras tipo Dalton (de simple efecto)

La trituradora tipo Dalton difiere de la anterior en que la mandíbula móvil va montada directamente sobre un balancín que está suspendido en la parte superior por el eje, excéntricamente y el movimiento esta dado por el motor.

En la parte inferior, el balancín tiene una articulación a la que va unida una placa riostra, la que en el extremo opuesto va unida mediante otra articulación a un apoyo fijo (ver *Figura N°4*).

El movimiento de la mandíbula móvil es circular, alejándose y acercándose a la fija y subiendo y bajando. El mecanismo de esta trituradora es mucho más simple y directo que en el caso de la tipo Blake, por lo que el rendimiento es mejor.

Por otra parte esta trituradora cuenta también con la polea y el volante montados sobre el eje, las placas de trituración, etc., en forma análoga a la tipo Blake.

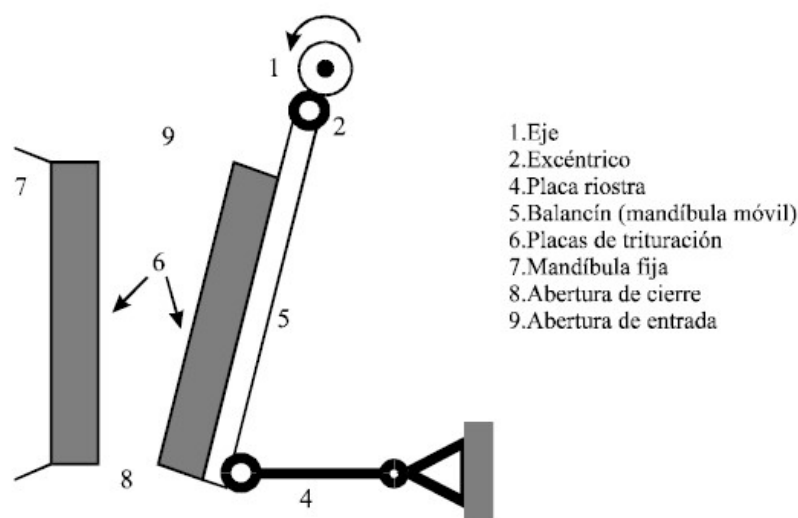


Figura N° 4. Esquema Trituradora tipo Dalton.



Figura N° 5. Corte Trituradora tipo Dalton.

Trituradora de excéntrica y leva (tipo Lyon)

Es una trituradora similar a la tipo Blake, con la diferencia de que el movimiento es realizado por una excéntrica que mueve una leva y esta a través de una placa de articulación moviliza a la mandíbula móvil que está suspendido de la parte superior (ver Figura N°6).

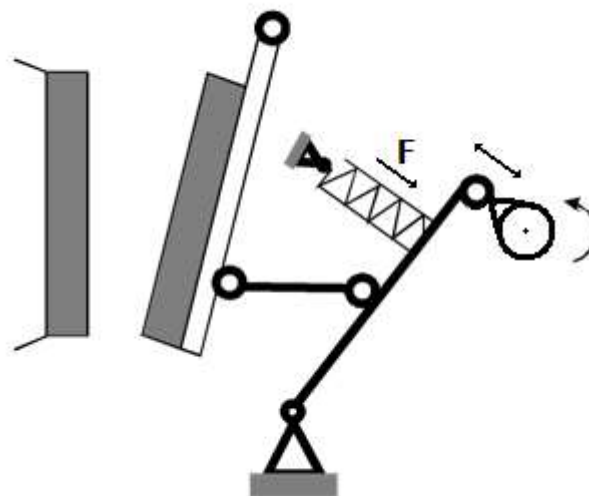


Figura N° 6. Esquema Trituradora tipo Lyon

Trituradora de abertura constante (tipo Dodge)

En esta trituradora el eje de la mandíbula móvil se encuentra en la parte inferior, lo que hace que la abertura permanezca constante y, por lo tanto, la mandíbula tiene su máximo desplazamiento en la parte superior. Solamente se utilizan para trabajos de laboratorio (ver Figura N°7).

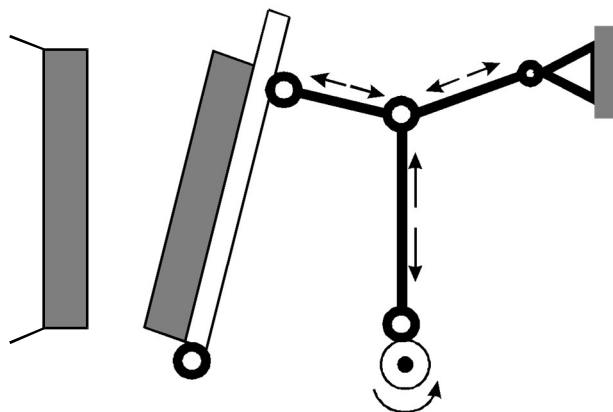


Figura N° 7. Esquema Trituradora tipo Dodge.

2.3.1.2 Trituradoras de Acción Continua. Trituradoras Giratorias o Cónicas

Existen dos tipos fundamentales de trituradoras giratorias: las denominadas de eje vertical y apoyo superior, y las de eje vertical y apoyo inferior.

Trituradora de eje vertical y apoyo superior

Esta trituradora cuenta con una mandíbula fija (2) anular, con sus correspondientes placas de trituración, y una mandíbula móvil (1), en forma de cono, con la base en la parte inferior. El cono triturador (1), va montado sobre un eje vertical (3) el que tiene una articulación (7) en su parte superior. La parte inferior del eje va montada excéntricamente (4) a una corona dentada (5), la que gira merced al accionamiento de un motor (8), a través de un eje y un piñón (6) (ver Figura N°8).

Como consecuencia del giro de la corona, que el eje es excéntrico respecto a la misma y, además, del apoyo articulado superior (7), el eje y, por consiguiente el cono triturador, describen un movimiento cónico, con base en la corona y vértice en el apoyo superior. De esta forma el cono triturador se va acercando y alejando en forma continua de la mandíbula fija y triturando el mineral. Este se alimenta por la parte superior (9), por la boca de entrada y sale de la máquina por gravedad en la parte inferior (10), por la abertura de salida. En razón del movimiento del cono triturador, la máquina a cada

instante tendrá dos aberturas de entrada extremas, una máxima y una mínima y otras tantas de salida, la de cierre máximo y de cierre mínimo.

En la Figura N°8 se ha detallado el corte A-A, donde se puede observar cómo trabaja el cono triturador (1) ejerciendo una fuerza (11) sobre las piedras, mientras que la mandíbula fija (2) ejerce las reacciones (12), por lo que la piedra es sometida a un esfuerzo de flexión y se rompe, luego sigue apretando el cono sobre la piedra y ejerce un esfuerzo de compresión, que es el más importante, apretándola contra la mandíbula fija. En estas trituradoras, al igual que en las de mandíbulas, el esfuerzo que prevalece en la rotura de las rocas es el de compresión, pero el de flexión es más importante que en las trituradoras de mandíbulas.

Estos trituradores se fabrican en distintas dimensiones que la permiten trabajar en las tres etapas de trituración: primaria, secundaria y terciaria. Los materiales utilizados son similares a los que se emplean en las trituradoras de mandíbulas.

En algunos casos la transmisión del motor se hace a través de correas que acoplan el eje con la polea.

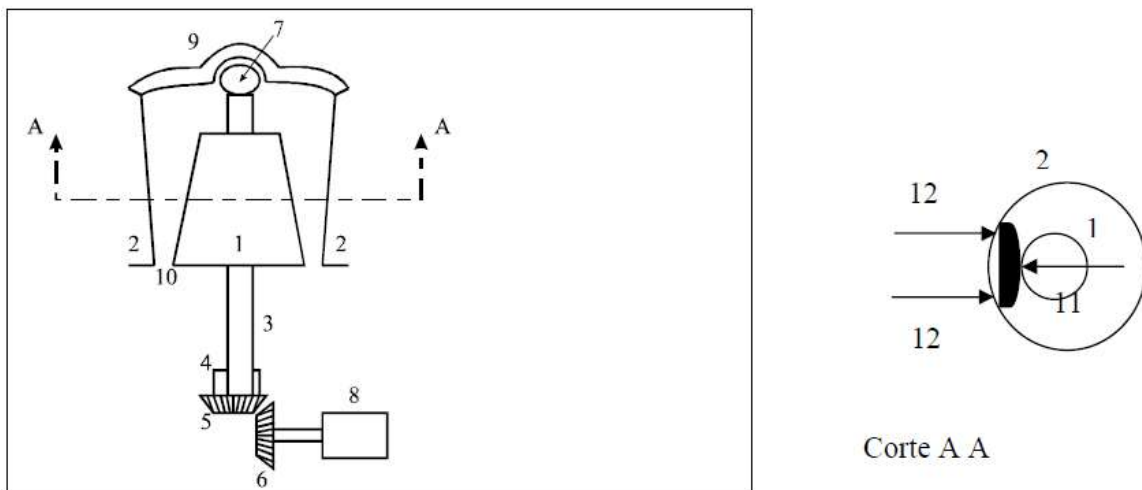


Figura N° 8. Esquema Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo superior

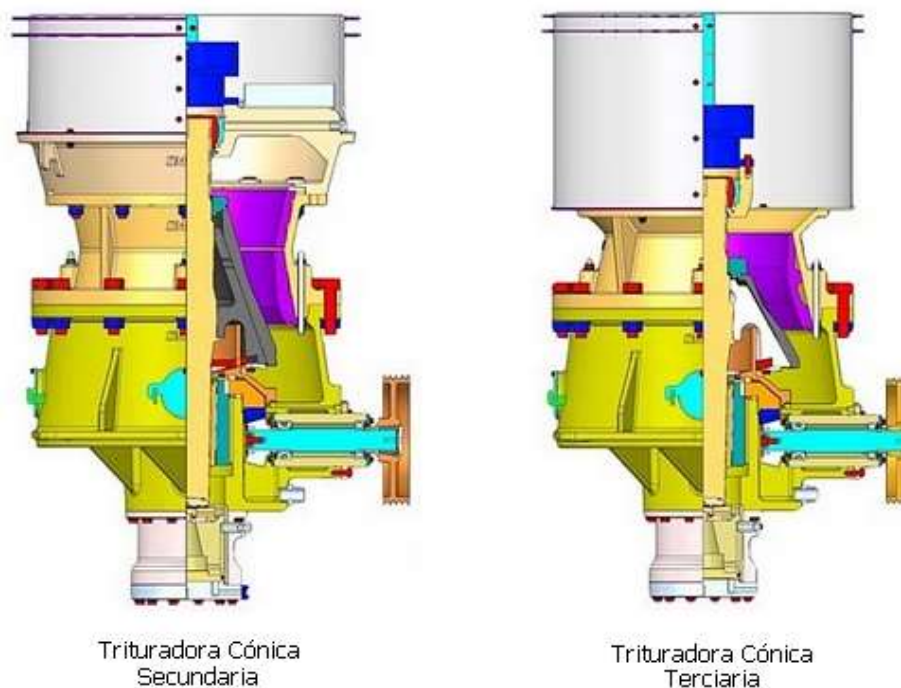


Figura N° 9. Esquema Comparación Trituradoras giratorias de eje vertical y apoyo superior

Trituradora de eje vertical y apoyo inferior

Esta trituradora cuenta con una mandíbula fija (2) y con un cono triturador en forma de hongo (1) que va montado sobre un eje (3) que se encuentra ligeramente inclinado respecto a la vertical. En la parte inferior el eje se apoya sobre una corona (5) la que gira por la acción de motor (8) acoplado a un piñón (6) (ver *Figura N°10*).

La inclinación del eje hace que el cono triturador se acerque y se aleje de la mandíbula fija, y de esta forma puede triturar las rocas.

La boca de entrada (9) está en la parte superior y la de salida del material en la inferior (10). Estas trituradoras se utilizan para efectuar la trituración secundaria y terciaria.

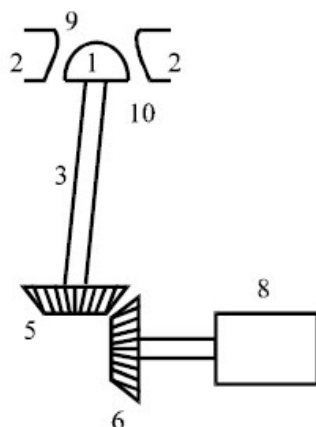


Figura N° 10. Esquema Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior.

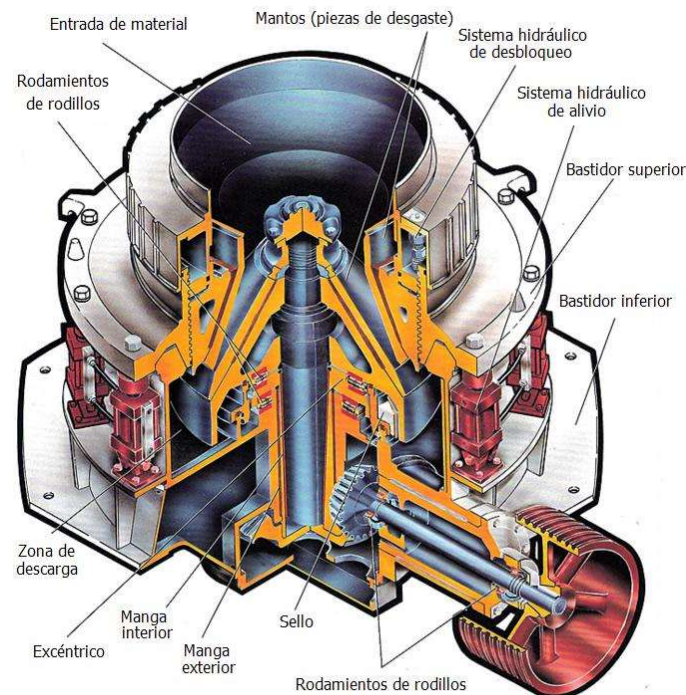


Figura N° 11. Corte Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior

2.3.1.2.1 Selección de Mantos para Trituradoras Giratorias

Las Trituradoras Giratorias poseen una mandíbula fija sujeta a la carcasa y una móvil sujeta al rotor, realizadas en aceros al manganeso de alta resistencia, también llamadas mantos, las mismas constituyen las piezas de desgaste de la máquina. Para un mismo modelo de triturador existen diversos tamaños de mantos que otorgan variadas configuraciones a la trituradora.

La selección del tipo de manto está condicionada, para un modelo de trituradora, por el tamaño de los productos de alimentación, ya que la apertura de entrada de la trituradora queda determinada por la elección. La misma aumenta en los mantos medio finos respecto a los medios (Ver Figura N° 12) y así sucesivamente de izquierda a derecha. Esta ventaja entregada por los mantos finos esta contrarrestada por una menor superficie de trituración, lo que ocasiona un mayor desgaste y una consecuente menor duración del manto.

La elección del tipo de manto en sistemas de trituración de más de un equipo, cuando la trituradora es alimentada con la descarga de otra trituradora, representa una solución de compromiso entre los costos de mantenimiento y recambio del mismo y la reducción del tamaño del equipo anterior, por disminución del grado de reducción requerido del mismo.

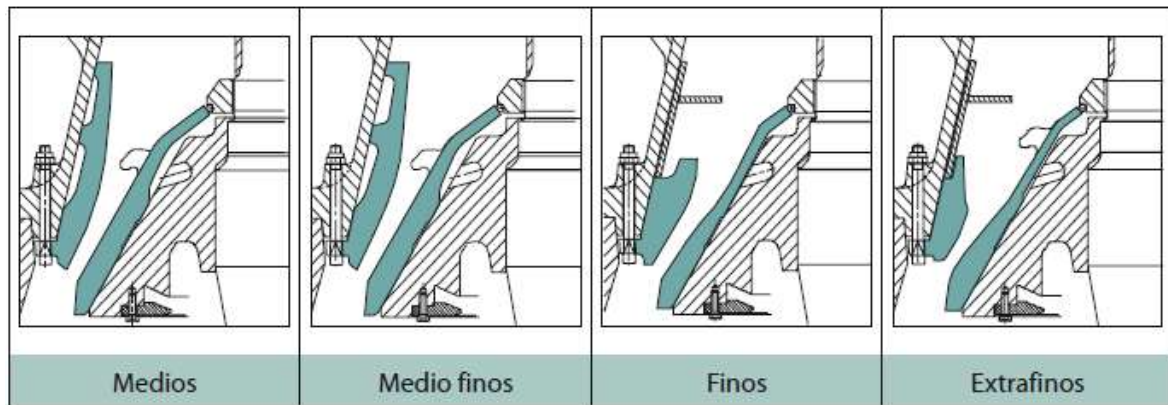


Figura N° 12. Esquema Selección de Mantos para Trituradoras giratorias.

ACLARACIÓN: Los mantos llamados finos en la figura corresponden a los llamados Course en las tablas de cálculo.

2.3.1.3 Trituradoras de Cilindros

Existen diversas clases de trituradoras de este tipo, que consiste en dos cilindros (1) del mismo diámetro que giran en sentido opuesto como se indica en la *Figura N°13*. El material es tomado por ambos cilindros y es apretado entre ellos para efectuar la trituración.

Los cilindros giran accionados por un motor y el acople entre ambos se hace a través de ruedas dentadas. Estos pueden ser lisos, estriados o dentados.

Para que el material a triturar pueda ser procesado, se requiere que el tamaño de los trozos sea menor que la veinteava parte del diámetro de los cilindros pues en caso contrario el material no es tomado y pasado a través de los cilindros.

Existen diversas máquinas, según los cilindros tengan sus ejes en puntos fijos (ver *Figura N°13*, de la izquierda), o si uno de los cilindros es móvil (ver *Figura N°13*, de la derecha), en cuyo caso el eje móvil está sujeto por fuertes resortes que le impiden su desplazamiento durante la operación de trituración.

También hay máquinas que tienen los dos ejes móviles.

Estas trituradoras se utilizan normalmente en trituración terciaria.



Figura N°13. Esquemas Trituradoras de cilindros

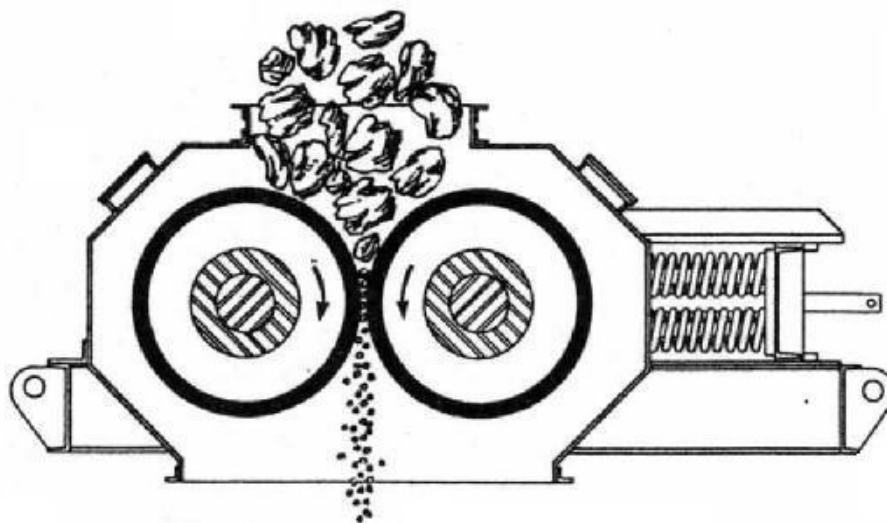


Figura N°14. Corte Trituradora de cilindros

2.3.1.4 Trituradoras de Martillos, Percusión o Impactos

Las trituradoras de martillos (percusión o impacto) actúan por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. Se caracterizan por una elevada tasa de reducción, y por la propiedad de dar forma cúbica al producto, por lo que suelen utilizarse para trituración secundaria, aunque los grandes trituradores de impacto también se usan para trituración primaria. A su vez estos equipos pueden ser utilizados en la trituración selectiva, método que libera minerales duros de material estéril.

Las trituradoras de martillos están compuestas por una carcasa cubierta por placas de acero, en cuyo interior se aloja un eje y un conjunto de rotor.

2.3.1.4.1 Trituradora de Martillos de eje Horizontal

La trituradora de Martillos de eje Horizontal está compuesta por una carcasa, recubierta en su interior por placas de desgaste, en donde se aloja un eje dispuesto en forma horizontal que gira a gran velocidad, y al cual van sujetos perpendicular y rígidamente los elementos de percusión (Martillos). (ver *Figura N°15*)

El material de alimentación ingresa a la trituradora por la parte superior cayendo por gravedad a la cámara de desintegración, donde en su descenso es golpeado por los martillos del rotor originándose sucesivos golpes entre partículas, contra la carcasa y contra el rotor, esto desintegra el material y favorece un mejor formato del producto.

Existen trituradoras de Martillos de eje Horizontal de diversos tamaños y diversas capacidades, pudiendo utilizarse desde la trituración primaria de productos calcáreos en grandes capacidades hasta la trituración de pequeñas cantidades de escoria.

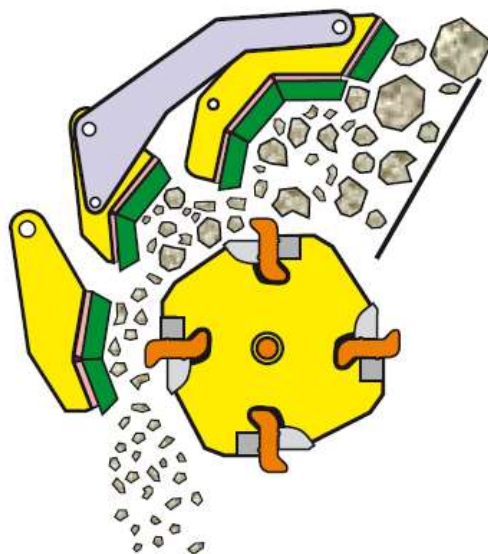


Figura N° 15. Esquema Trituradora de Martillos de eje Horizontal

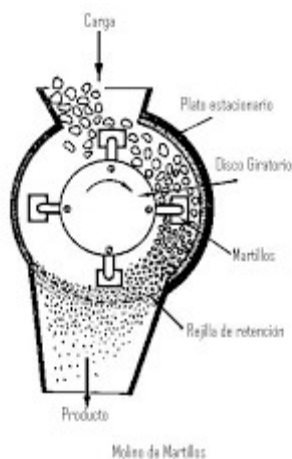


Figura N° 16. Corte de una Trituradora de Martillos de eje horizontal

2.3.1.4.2 Trituradora de Martillos de eje Vertical

La trituradora de Martillos de eje Vertical está compuesta por una carcasa, recubierta en su interior por placas de desgaste, en donde se aloja un eje hueco dispuesto en forma vertical que gira a gran velocidad, al cual se encuentra sujeto un rotor. (ver *Figura N°16*)

El método de operación similar a una bomba centrífuga. El material se alimenta a través del centro del eje del rotor, donde es acelerado hasta una alta velocidad antes de ser descargado a través de aberturas en la periferia del rotor. La trituración ocurre cuando el

material choca a alta velocidad contra las placas de desgaste de la carcasa exterior y también debido a la acción de roca contra roca.

Las trituradoras de Martillos de Eje Vertical se utilizan principalmente en la producción de materiales finos con buen formato cúbico.

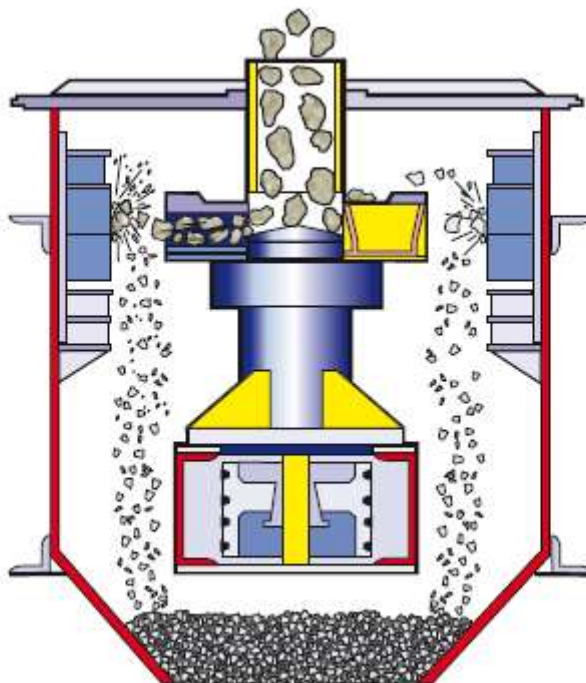


Figura N° 16. Esquema Trituradora de Martillos de eje Vertical

En los últimos años ha surgido una nueva tecnología autógena en Trituradoras de Martillos de eje Vertical llamada Bremer, en la cual se aprovecha una capa de material para recubrir las paredes interiores de la carcasa minimizando el desgaste de la máquina y reduciendo los costos de mantenimiento, a costa de una menor tasa de reducción.

2.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TRITURADORAS

A título ilustrativo, en el siguiente cuadro, se dan las características salientes de las trituradoras. Se han tomado en este caso trituradoras de grandes tamaños, si bien es cierto reconocer que los distintos tipos cuentan con una variada gama de tamaños y capacidades de producción.

Trituradoras – Características principales (Tamaños grandes)

Trituradora	De Mandíbulas		Giratorias (cónicas)		De Cilindros	De Martillos
Tipo	Blake	Dalton	Apoyo Superior	Apoyo Inferior		
Usada mas frecuentemente en trituración	Primaria	Primaria	Primaria Secundaria Terciaria	Secundaria Terciaria Cuaternaria	Terciaria	Primaria Secundaria Terciaria
Capacidad de producción (ton/h)	600 a 900	600 a 900	5000 (*)	450	130	120
Potencia máxima del motor (HP)	220	250	1000 (*)	300	40	150
Tamaño de la trituradora (m)	Alto: 5 Largo: 5.4 Ancho: 3.2	Alto: 3.3 Largo: 3.8 Ancho: 2.2	Alto: 12 Diam.: 6 (*)	Alto: 5 Diam.: 5	Alto: 1.7 Largo: 3.7 Ancho: 1.1	Alto: 2.0 Largo: 1.6 Ancho: 1.8
Tamaño de productos de alimentación (cm) (**)	125 (50)	125 (50)	135 (54) (*)	35 (14)	6.5 (21/2)	75 (30)

(*) Datos correspondientes a una trituradora giratoria primaria

(**) Cifras entre paréntesis expresados en pulgadas

2.5 COMPARACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE TRITURADORAS

2.5.1 Aspectos Generales

Con el objeto de poder comparar los distintos tipos de trituradoras y su aplicación, no solo hay que efectuar un análisis de las características técnicas de las mismas y la naturaleza de los materiales a tratar, sino también, y en forma muy detallada, los aspectos referentes a los costos.

A tal efecto deberán tenerse en cuenta los aspectos:

- Amortización de la trituradora:** que comprende el precio de la maquina y su instalación. Para ello se puede considerar una vida útil de veinte años; aun cuando las trituradoras pueden durar hasta cuarenta años.
- Energía:** constituye un importante aspecto del costo. Para el caso de las trituradoras de mandíbulas los consumos se encuentran entre 0.5 a 3 KW por tonelada tratada. Naturalmente el valor más alto corresponde al mayor grado de desintegración.
- Mano de obra:** comprende los gastos correspondientes al personal que atiende la operación de la maquina.

d) **Elementos de desgaste:** entre los elementos de desgaste, los más importantes son las placas de trituración, es decir los elementos que se encuentran en contacto directo con las rocas a triturar. En el caso de las trituradoras de martillos serán los elementos de percusión.

e) **Mantenimiento:** la lubricación de la maquina, diversas piezas, varillas, resortes, rodamientos, etc.

Los aspectos señalados precedentemente, hacen al coso total de operación de las maquinas y deciden la elección de la más adecuada para cada tipo de trituración.

2.5.2 Comparación entre Trituradoras

Las trituradoras de martillos son más livianas y fáciles de instalar que las otras trituradoras, por lo que sus gastos de amortización son inferiores y, por otra parte, permite realizar desde trituración primaria hasta pulverización de rocas y minerales. De esta forma se puede afirmar que debería utilizarse siempre, salvo que la abrasividad del material a tratar produzca un desgaste demasiado rápido de los elementos de percusión. Se considera que no es conveniente tratar, en estas trituradoras, los materiales que tengan más del 6% de sílice (SiO_2) libre.

En el caso que se pudiera encontrar un material, que soporte el impacto y la abrasión a un precio razonable, para los elementos de percusión, toda la desintegración se haría en trituradoras de martillos.

Las trituradoras de cilindros son adecuadas para la trituración de carbón, arcillas y harinas. Para el resto de los materiales es superada por la trituradora de martillos.

Las trituradoras de cilindros no resultan adecuadas para materiales duros y abrasivos.

Las trituradoras de mandíbulas y giratorias son las más adecuadas para triturar productos duros y abrasivos.

Cuando trabajan en trituración primaria puede decirse que las de mandíbulas se utilizan para producciones de hasta 800 a 1000 ton/h, mientras que las giratorias pueden utilizarse para producciones superiores. En general, como las giratorias cuestan tres veces más que las de mandíbulas y producen (a plena carga) 3,5 veces la cantidad de las de mandíbulas, para igual potencia, se prefieren las giratorias cuando se trabaja a plena carga.

En trituración secundaria y terciaria, para grandes producciones, las trituradoras giratorias se prefieren a las de mandíbulas.

Si comparamos las trituradoras de mandíbulas tipo Blake y Dalton, esta última presenta ventajas por un menor precio y más simple mecanismo (menor consumo de energía). Pero por la forma de trabajo de su mandíbula móvil, produce un mayor desgaste de sus placas de trituración. En base a esto, se puede señalar, en términos generales que si las placas de trituración, a causa del desgaste, deben cambiarse dos veces por año (como máximo), conviene la tipo Dalton. Si, en cambio, debe hacerse más de dos veces por año, resulta conveniente la tipo Blake.

2.6 BIBLIOGRAFÍA

“Tecnología de los Aparatos de Fragmentación y de clasificación Dimensional” - E. C. Blanc – Colección rocas y minerales – Madrid.

“Trituración, Molienda y Separación de Minerales” – Waganoff – Editorial Alsina.

“Manual de preparación de Minerales” – Taggart.

“Manual de trituración y cribado” – Metso.

“Ingeniería Química 2: Unidades SI, operaciones básicas, Volumen 1” - J. M. Coulson, J. F. Richardson, J. R. Backhurst, J. H. Harker.