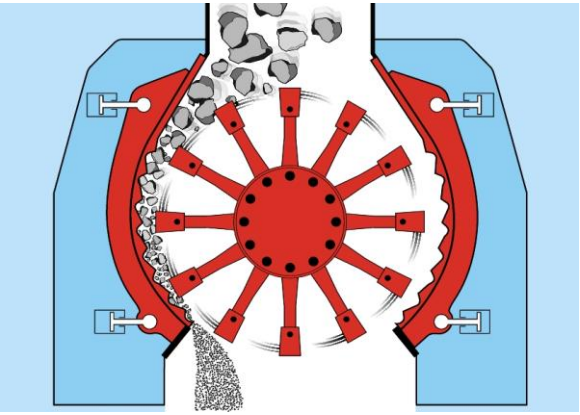
Universidad Politécnica de Cartagena

TECNOLOGÍA MINERALÚRGICA

TEMA 3: REDUCCIÓN DE TAMAÑO - TRITURACIÓN

PARTE 4

Universidad Politécnica de Cartagena



3

REDUCCIÓN DE TAMAÑO: TRITURACIÓN – PARTE 4

Trituradores de Percusión e Impactos

3.18. Introducción.

3.19. Trituradores de Impactos (Eje Horizontal).

3.20. Trituradores de Impactos (Eje Vertical).

3.21. Trituradores de Martillos.

3.22. Ventajas e Inconvenientes.

3.23. Dimensionado de los trituradores de Impacto y Percusión.

Trituradores de Percusión e Impactos. Introducción

Introducción

- **Aprovechan los impactos a alta velocidades para fragmentar los minerales.**

- **Estas acciones de fragmentación se llevan a cabo, o bien en los puntos de golpeo de las barras (rotor), o bien en los puntos de impacto contra las placas de impacto.**

- **Hay una importante diferencia entre la trituración producida, empleando acciones de compresión, y la obtenida a través de acciones de impacto, sobre todo en el tipo de producto *fabricado*.**

- **Cuando el material se tritura por compresión, el producto obtenido alberga tensiones residuales que pueden llevar a la generación posterior de microfisuras.**

- **Con la trituración por impactos, el producto se obtiene sin tensiones residuales, por lo que este tipo de equipos son altamente demandados para la fabricación de áridos (carreteras, hormigón, etc.).**

- **Los trituradores de impactos tienen un uso más extendido en la fabricación de áridos que el que tienen en otros sectores mineros.**

Introducción

- **La trituración se produce por un choque brusco entre el material a triturar y una herramienta o útil triturador, aprovechando el efecto de la energía cinética de un cuerpo puesto en movimiento.**

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

- **Esta energía cinética se transformará durante el impacto en energía de deformación, capaz de hacer llevar al material a su fragmentación.**

- **La ecuación anterior se aplica de forma diferente dependiendo si nos interesa triturar fragmentos gruesos o fragmentos finos.**

- **Así, con fragmentos gruesos, no hará falta grandes velocidades del rotor como sería necesario cuando hay que triturar partículas más finas.**

Trituradores de Percusión e Impactos. Introducción

Introducción

- **Atendiendo a lo anterior la trituración se puede llevar según dos tipos: Indirecta o Directa.**

- **Indirecta: Esta situación se presenta cuando el mineral es lanzado a altas velocidades contra las placas o yunques de impacto, por medio de los lanzadores fijos del rotor (trituradores de impacto o impactores).**

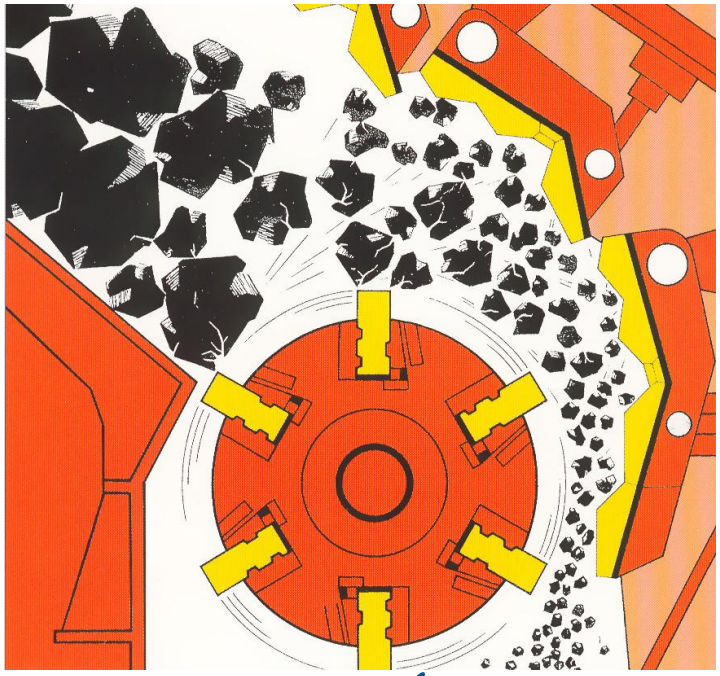


Figura 1

Triturador de impactos (trituración indirecta)

Introducción

- **Directa: El mineral es lanzado a muy altas velocidades contra las placas o yunques de impacto, por medio de los lanzadores móviles o martillos situados en el rotor (15-150 m/s) (molinos de percusión, molinos de martillos, etc.).**

- **Hay que hacer notar que tanto en los impactores como en los molinos de martillos se produce fragmentación tanto durante el golpeo del material por parte de los útiles del rotor, como en su impacto contra las placas de la cámara.**

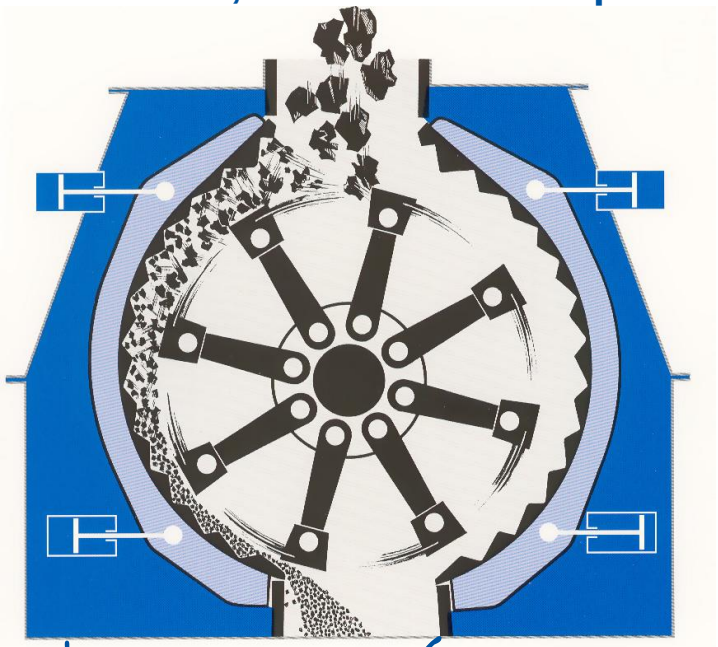


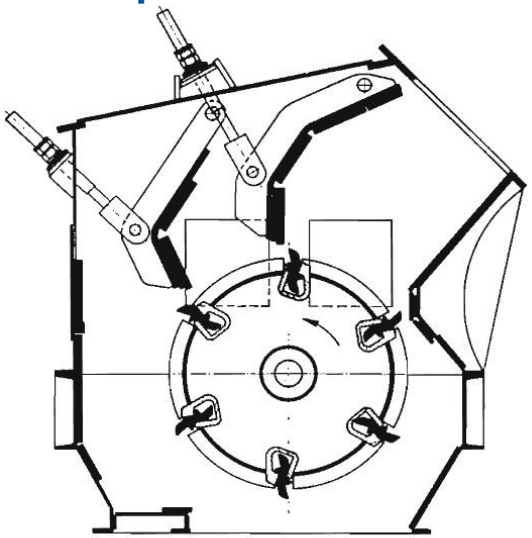
Figura 2

Triturador de percusión (trituración directa)

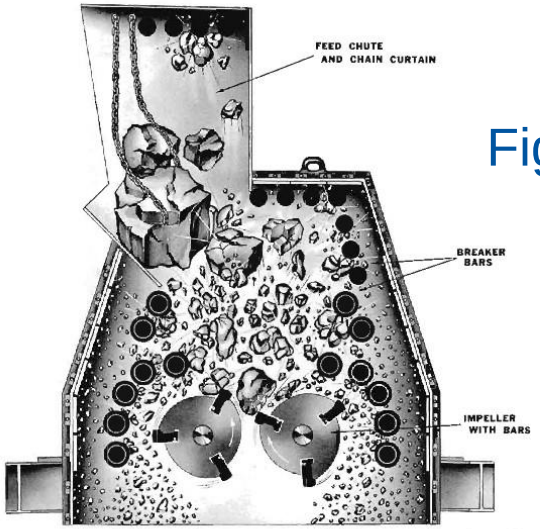
Introducción

- **El campo de aplicación de este grupo de equipos va desde la trituración primaria de grandes fragmentos Todo-Uno hasta la pulverización.**

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



Hazemag single-rotor nonreversible impactor with six hammer rows, one fixed hammer in each row (courtesy of *Hazemag*).



Iowa double-rotor impactor, nonreversible (courtesy of *Iowa Manufacturing Co.*).

Figura 3

- **Las herramientas de golpeo (lanzadores, percutores, barras, martillos, etc.) pueden fijarse de forma rígida sobre el rotor, o bien pueden estar unidos al rotor de forma articulada.**

Placas de impacto (Cortesía Guerrero)

Figura 4

Trituradores de Impactos (Eje Horizontal)

Descripción General

- **Estos equipos se caracterizan principalmente por disponer de un rotor (E) de acero fundido o electrosoldado de forma cilíndrica.**

- **A este rotor van fijadas las barras percutoras (1) que golpearán el material fragmentándolo y proyectándolo a gran velocidad.**

- **Los fragmentos proyectados por el rotor golpearán contra las placas de impactos (2) donde se producirán nuevas fragmentaciones que caerán nuevamente contra el rotor para volver ser lanzados contra las placas de impactos (3).**

- **El reglaje se lleva a cabo actuando de forma manual sobre los tornillos (4) y (5), o bien, empleando sistemas hidráulicos.**

- **La medida del reglaje nos la da la distancia mínima entre el extremo del percutor y la superficie externa de la placa de impactos (d).**

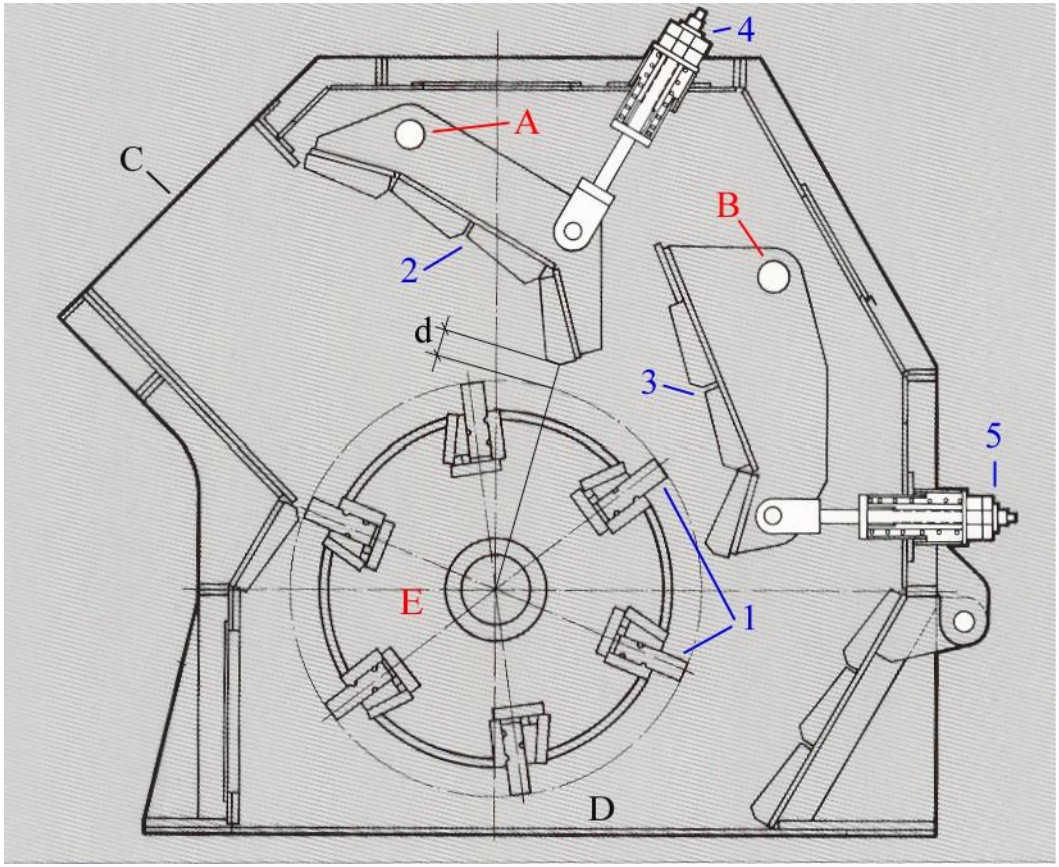
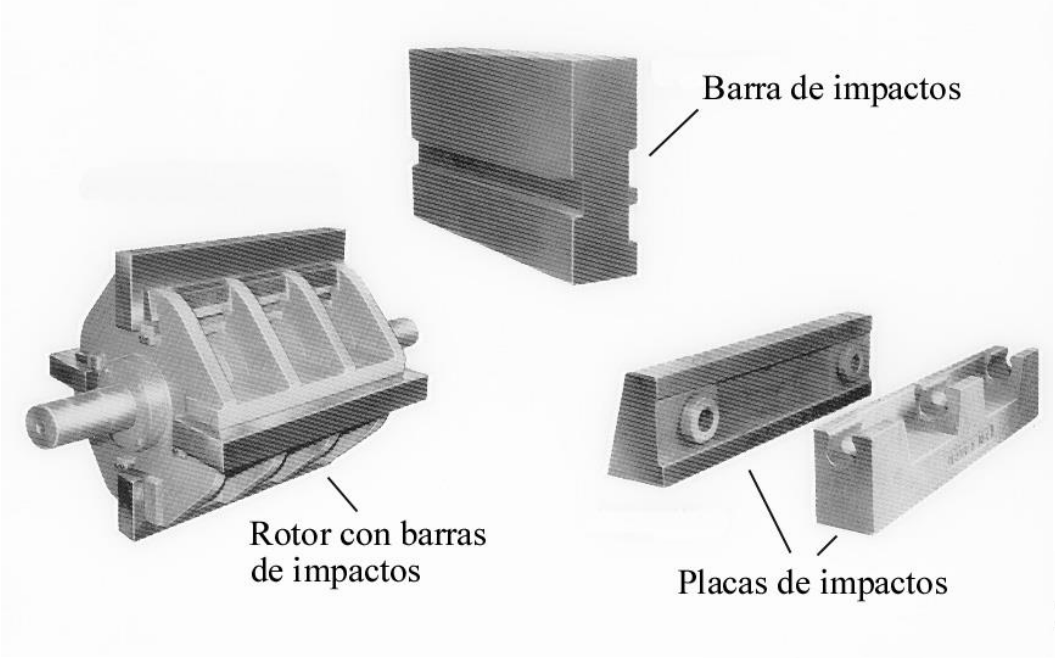


Figura 5

Principales elementos de un impactor.



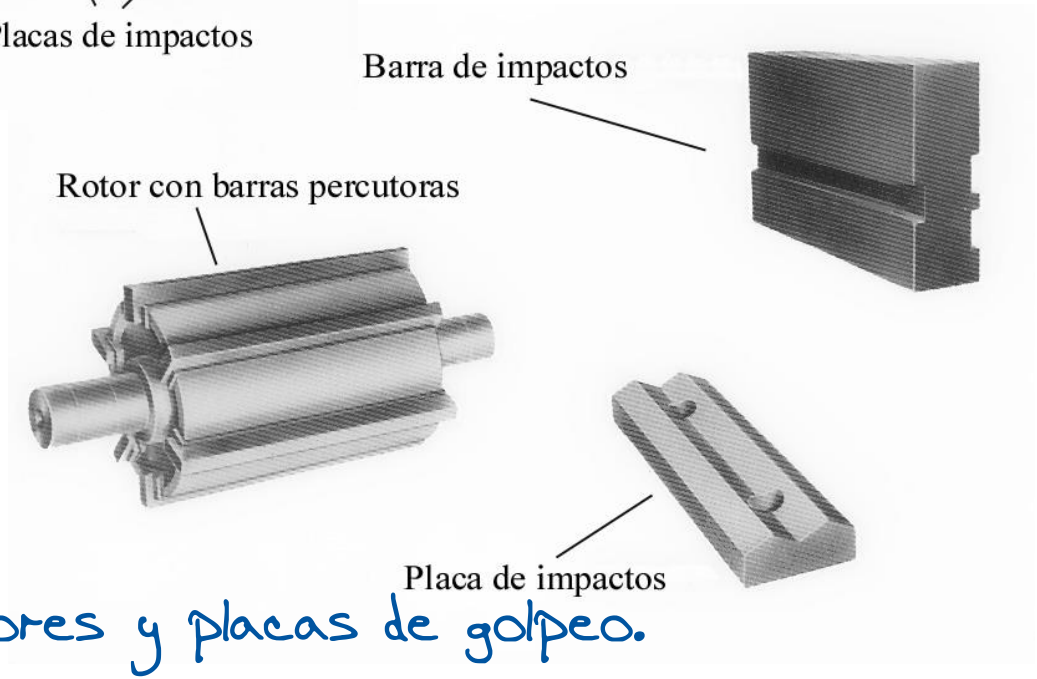


Figura 6

Tipos de rotores, lanzadores y placas de golpeo.

Descripción General

- **Casi la totalidad del material triturado se obtendrá con una dimensión inferior a d.**

- **Las placas (2) y (3), pueden pivotar alrededor de los ejes (A) y (B), pero esto será solo posible cuando estén sometidas a un empuje superior al estimado para la operación de trituración (entrada de intriturables-mecanismo de seguridad).**

- **La alimentación se lleva a cabo por la abertura de entrada (C) y la salida del material triturado es realizada por (D).**

- **Las barras percutoras están fabricadas de acero al manganeso cuando el material es poco abrasivo, siendo de acero al manganeso-cromo cuando el material es algo abrasivo.**

- **Las barras percutoras o de golpeo permiten su reversibilidad e intercambio.**

Descripción General

- **El rotor girará dentro de una carcasa, o bastidor, fabricada por chapas laminadas de gran espesor y reforzada en su parte exterior a través de nervios.**

- **El interior va forrado de chapas de acero al manganeso atornilladas o sujetadas por *tetones* para su fácil sustitución (Figura 3).**

- **Estos equipos, debido a la gran reducción de tamaño que producen (razón de reducción = 10-15) hacen que se requiera una gran espacio dentro de la cámara de trituración para permitir al material expandirse y que sus trayectorias hacia las placas de impactos no sean impedidas por las otras partículas.**

- **Podrán trabajar con descarga libre (por gravedad) o descarga cerrada (uso de rejilla para controlar el diámetro del producto).**

- **Aunque lo habitual es situar una criba exterior para conseguir un control sobre el tamaño del producto más exhaustivo y trabajar en circuito cerrado.**

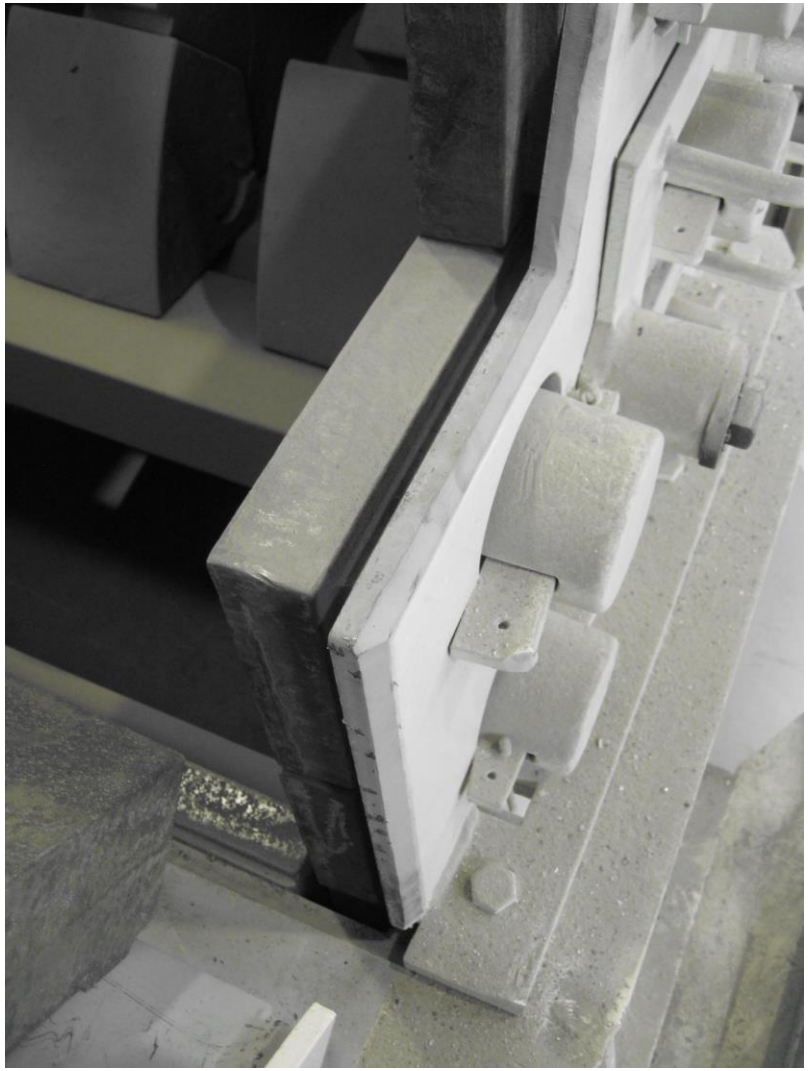


Figura 7

Detalle del forro interior (placas) y sujeción mediante tetón (Cortesía de Guerrero)

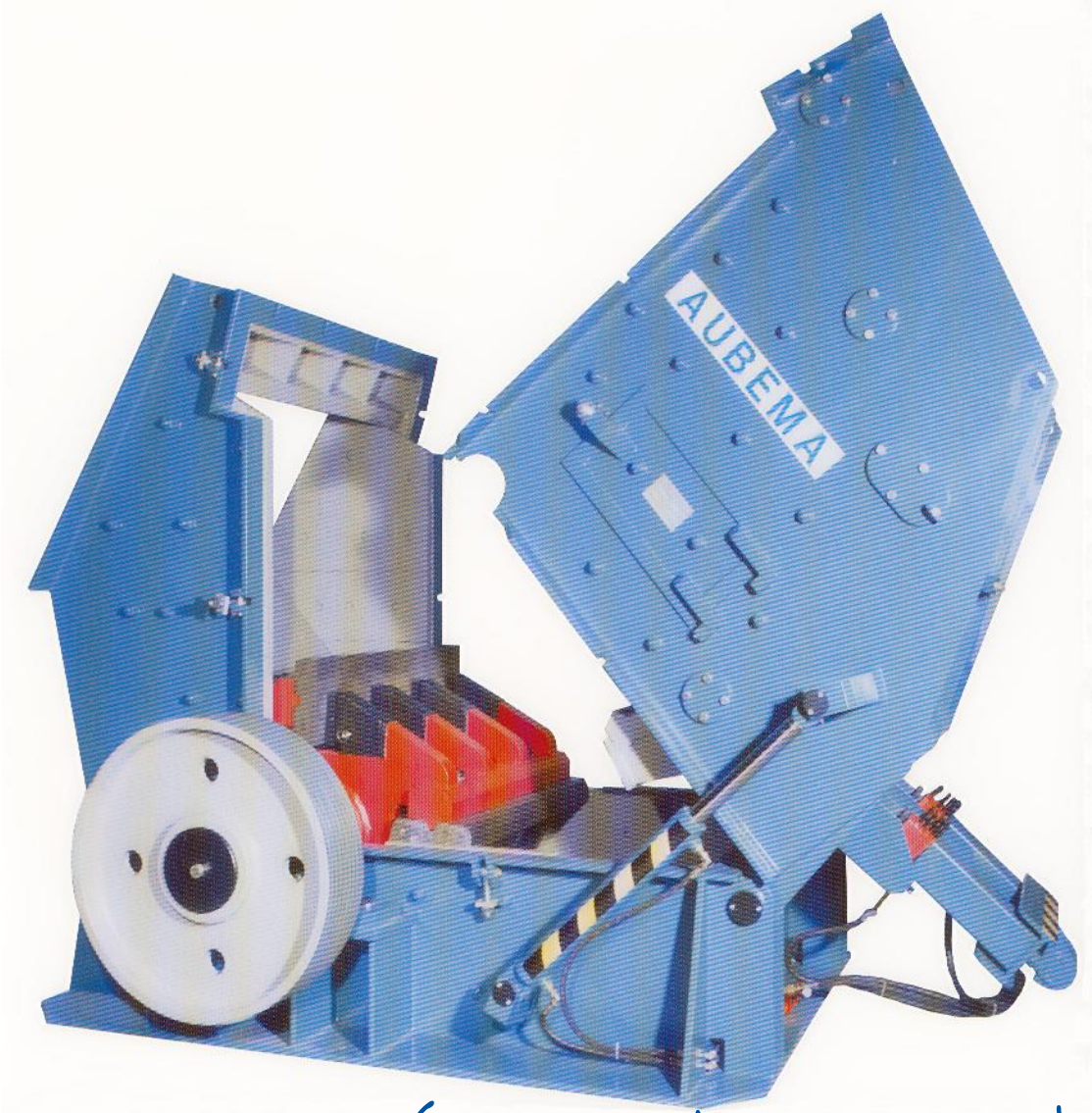


Figura 8

Impactor abierto (Cortesía Aubema – Sandvik Minerals)

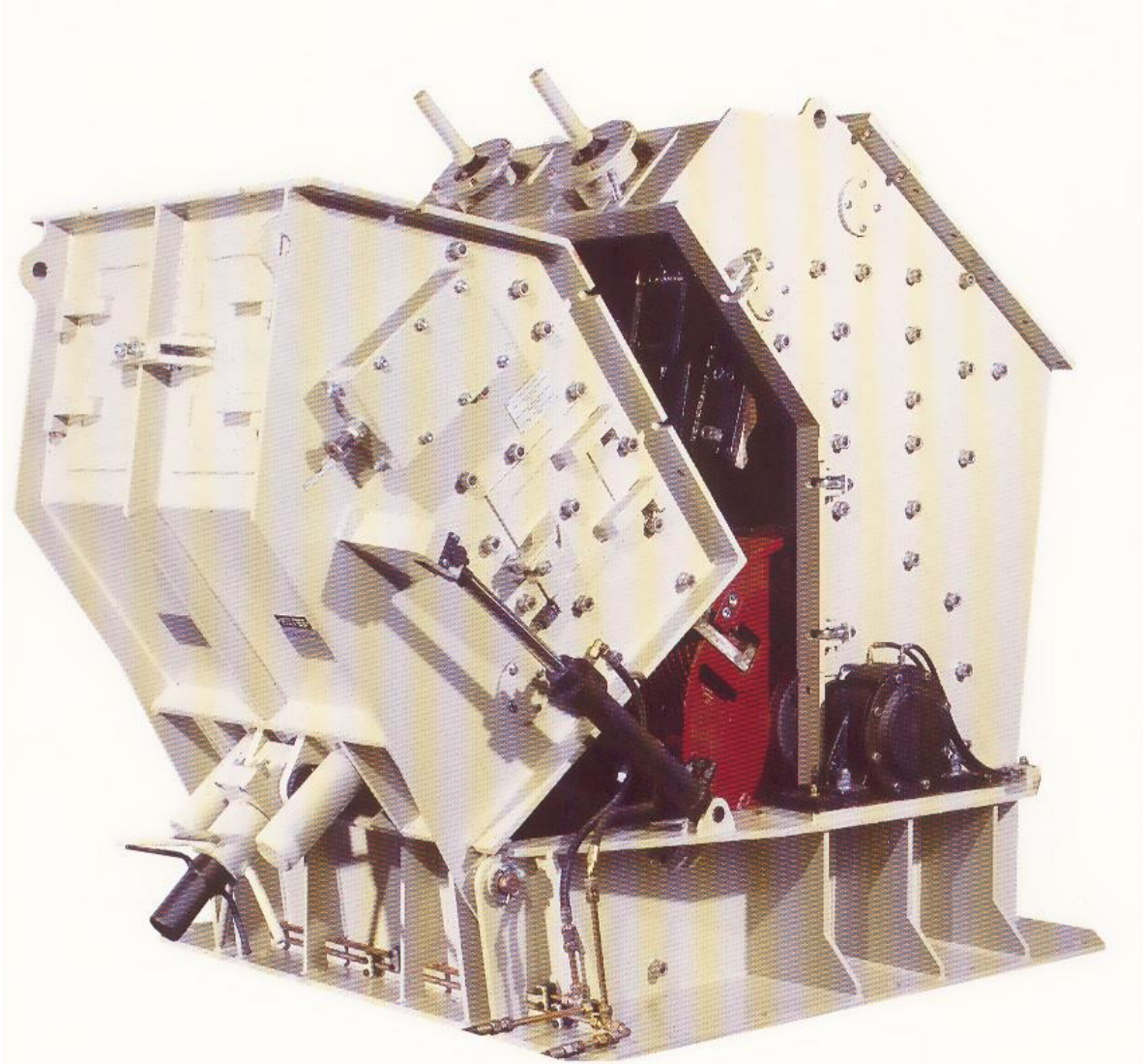


Figura 9

Impactor abierto de 2000 mm de rotor y 83 ton de peso
(Cortesía Aubema – Sandvik Minerals)

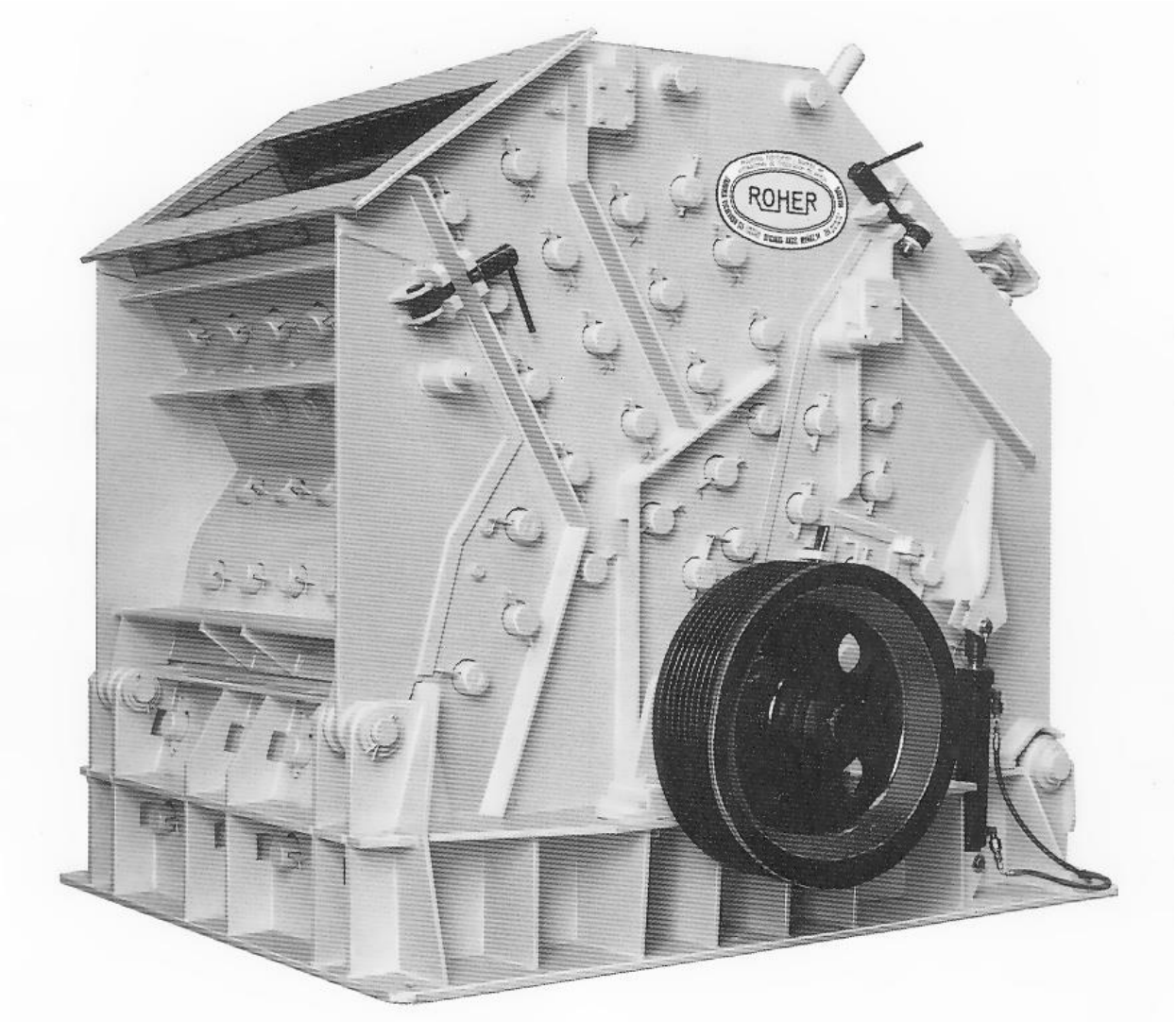


Figura 10

Impactor para productos abrasivos (Cortesía ROHER)

Aspectos Generales

- **En los equipos de trituración primaria se suelen emplear equipos de uno o dos rotores.**

- **En equipos de trituración secundaria el control sobre la posición de las barras o placas debe ser mucho más cuidadoso, colocándose más cerca del rotor e influyendo sobre el tamaño final.**

Figura 11

Lanzadores fijados al rotor (Cortesía GUERRERO)

Trituradores de Impacto (Eje Vertical)

Descripción General

- **En estos equipos el rotor porta-percutores gira en plano horizontal a través de un eje vertical.**
- **Existen dos grupos de equipos atendiendo a la forma de triturar el material: trituración roca-metal y trituración roca-roca.**
- **No son equipos adecuado para trituración primaria.**

Trituración roca-metal

- **El principio de fragmentación del mineral es igual que en los equipos vistos anteriormente.**
- **El material a triturar se introduce por la parte superior del equipo y cae a un plato distribuidor situado en el centro del rotor.**
- **Desde este plato, el material es lanzado por los percutores contra las caras de los yunques o placas de impacto, consiguiendo una fragmentación previa.**

Trituración roca-metal

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

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

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

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

- **El tipo de producto que producen presenta características similares a los de eje horizontal (índice de forma, resistencia, etc.).**

- **Realizan cierto trabajo de calibración (los tamaños más gruesos se reducen más rápidamente que los pequeños). Razón de reducción alta.**

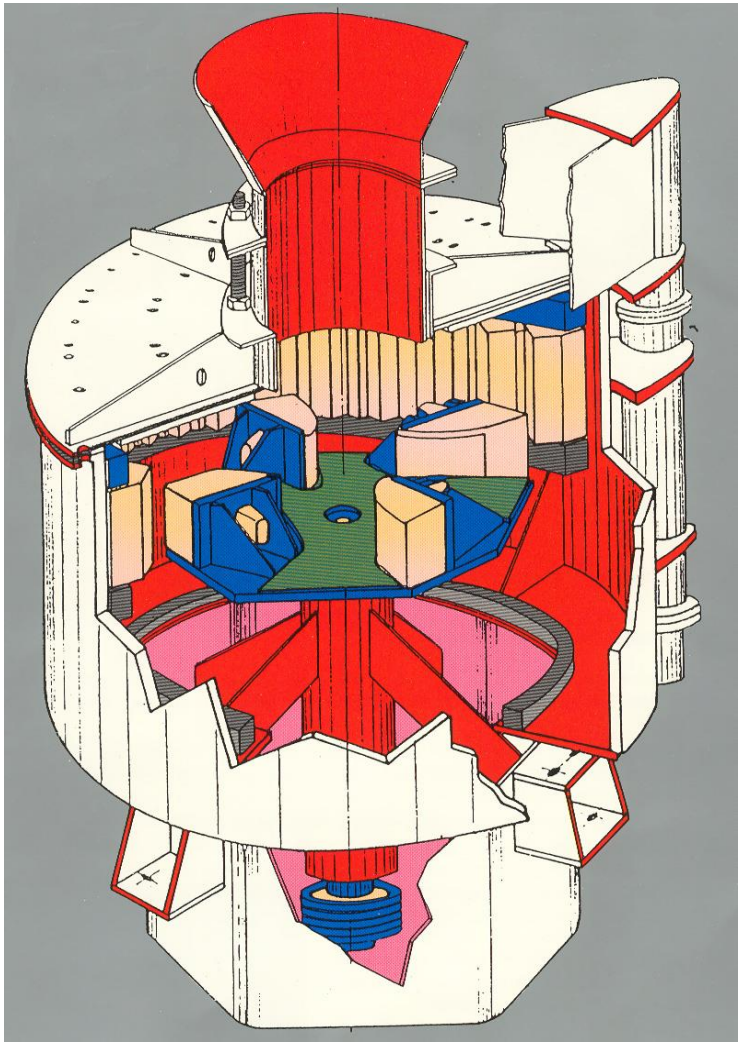


Figura 11

Impactor de eje vertical roca-metal

Trituración roca-roca

- **Estos equipos resuelven en parte los problemas de elevado desgaste sufridos en los equipos roca-metal.**

- **La fragmentación se produce como resultado de los impactos de los fragmentos lanzados contra el material depositados (lechos de material) sobre los resaltes metálicos fabricados para tal fin.**

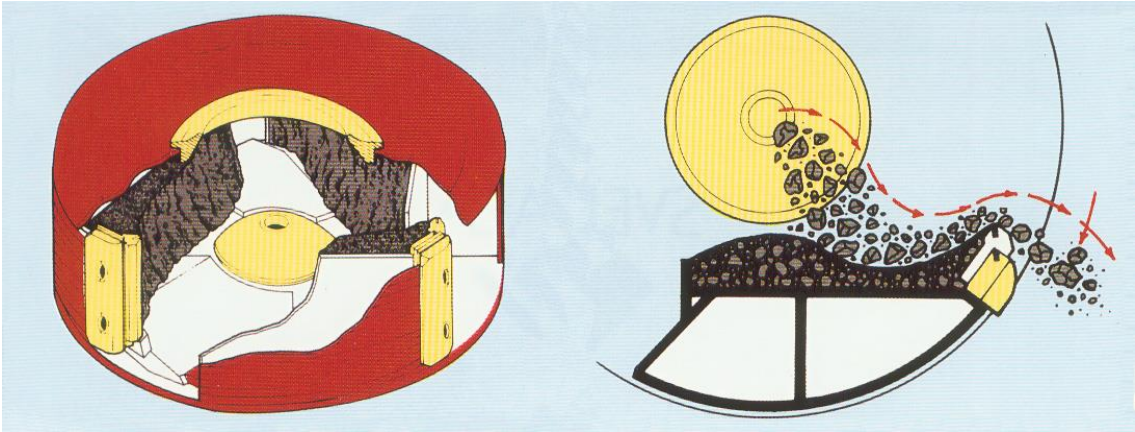


Figura 12

Plato lanzador de un equipo roca-roca

- **Ya que el material que forma los lechos sufre cierto movimiento cuando le llegan los fragmentos lanzados y, también por la poca masa relativa de las partículas, las velocidades que deben alcanzar los granos deben ser elevadas (60-70 m/s). Aumento importante en el consumo de energía.**

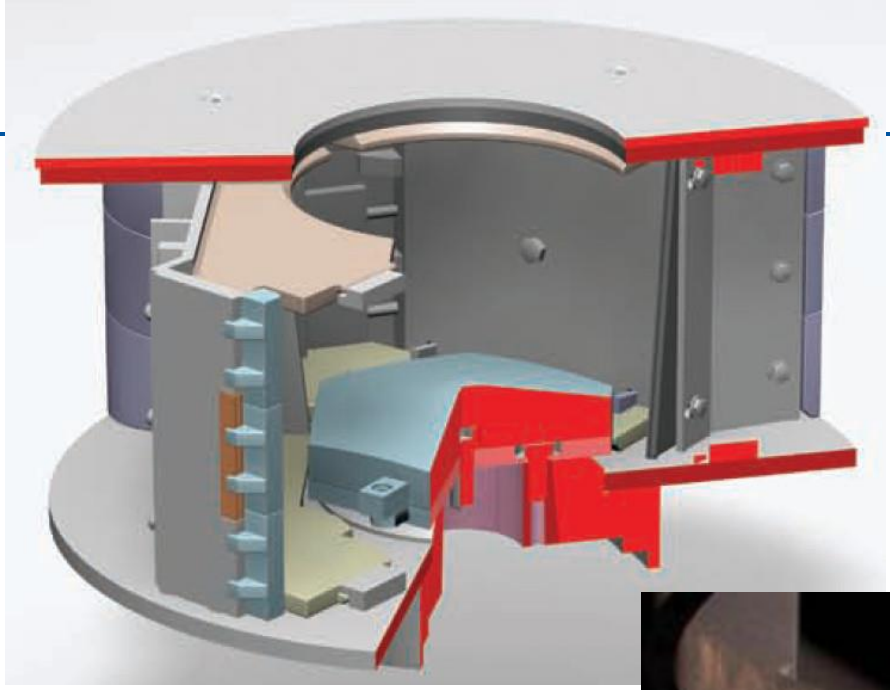


Figura 13

Plato lanzador (Cortesía Sandvik Minerals)

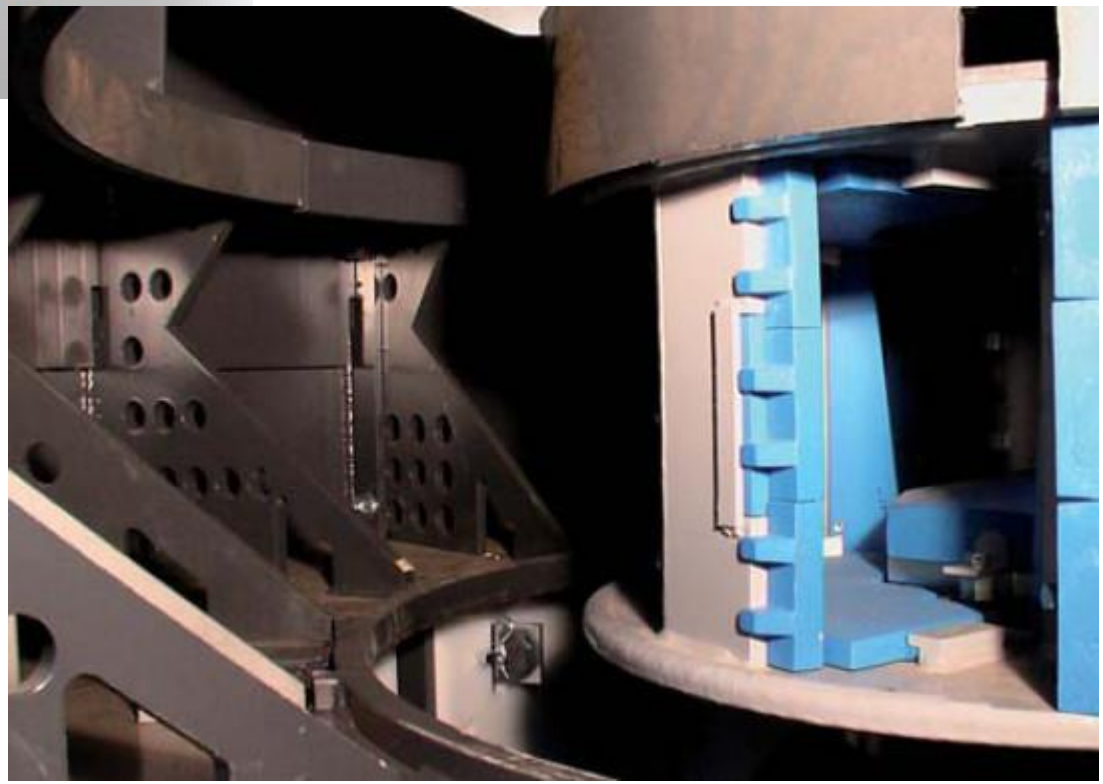


Figura 14

Trituración roca-roca

- **Actualmente existen nuevos equipos diseñados para intentar reducir ese aumento de consumo energético (Barmac Duopactor de Svedala – Metso Minerals; Hurricane de Sandvik Minerals).**

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

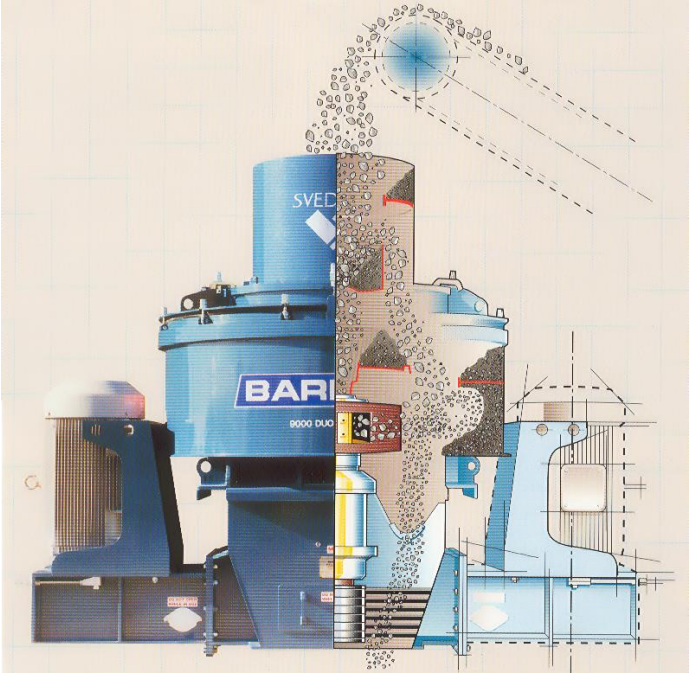


Figura 15

Barmac de Svedala roca-roca

Trituración roca-roca

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

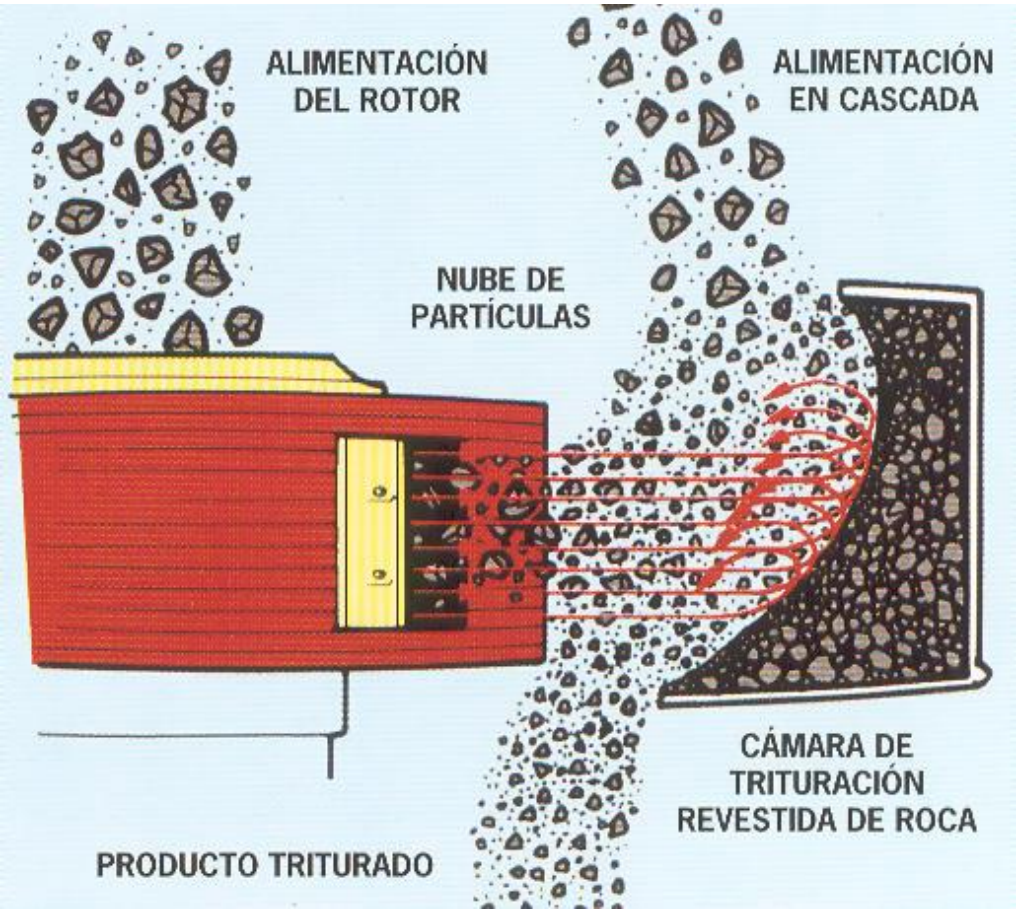


Figura 16

Barmac de Svedala roca-roca

Hurricane de Sandvik roca-roca

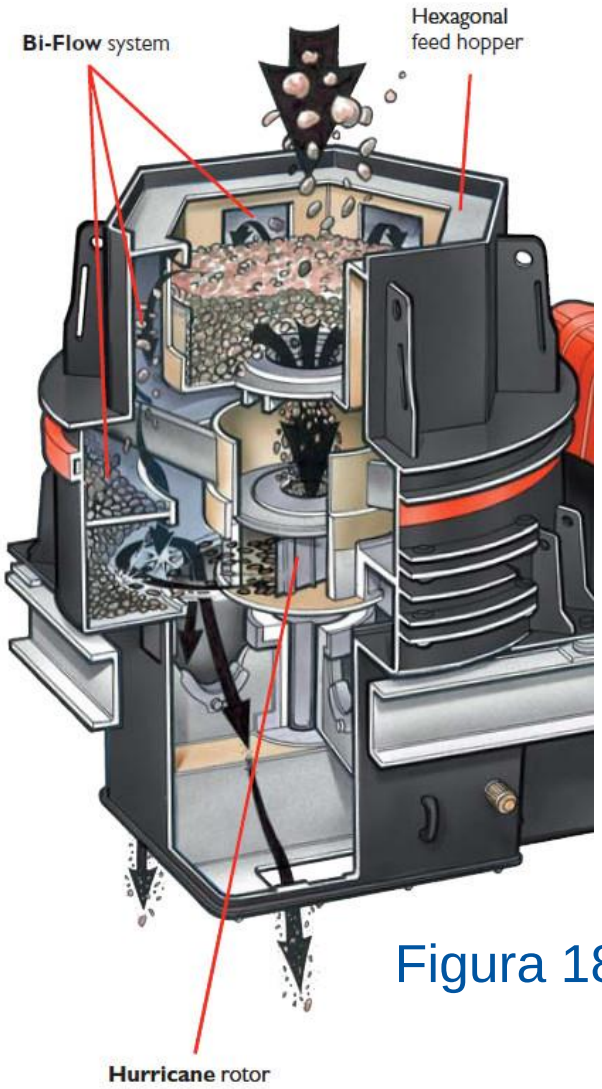
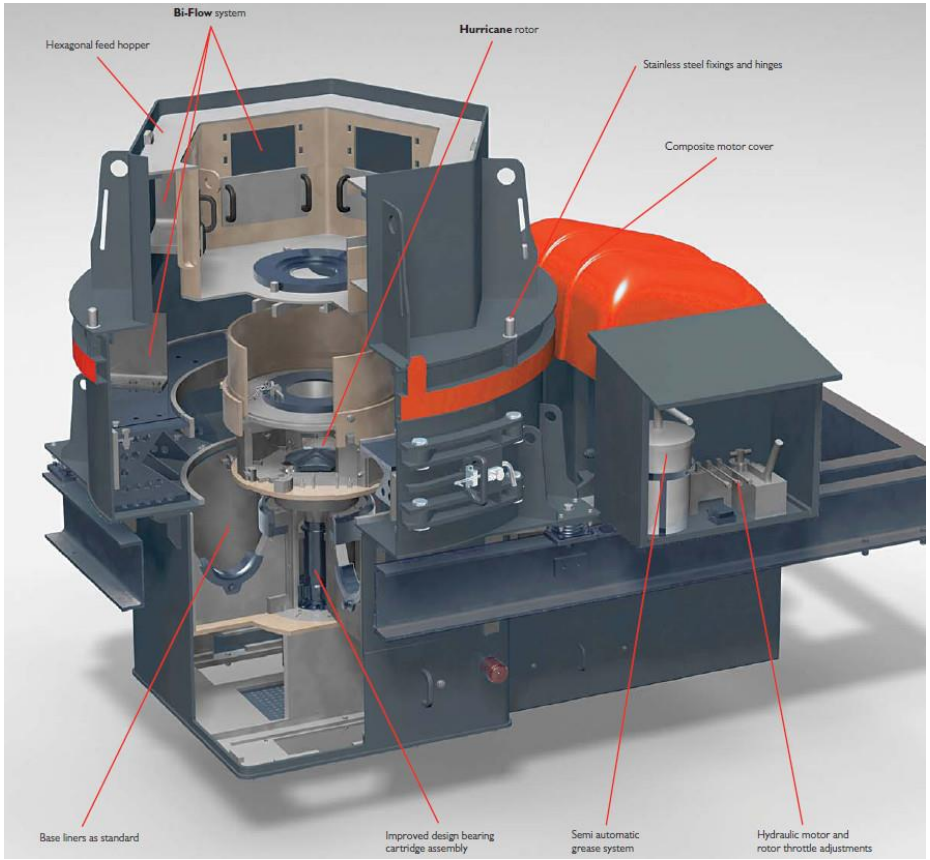


Figura 18

Figura 17



Características Generales

- **Estos equipos se instalan para llevar a cabo trituraciones terciarias e incluso cuaternarias (molienda gruesa).**
- **El tamaño del producto va desde los 0.06 mm a los 12 mm.**
- **Pueden manejar capacidades de 650 tph.**
- **Operarán tanto en circuito abierto como en circuito cerrado.**
- **Se emplean como correctores de forma del producto procedente de los conos para darle una mayor cubicidad.**
- **El tamaño de alimentación varía según los equipos entre 20-170 mm.**

Trituradores de Martillos.

Introducción

- **Hacen uso de los mismos principios de fragmentación (acciones, proyecciones de fragmentos, etc.) que los trituradores de impactos.**
- **Emplean un rotor de eje horizontal que gira a gran velocidad en el interior de una cámara formada por el bastidor blindado.**
- **El rotor estará constituido por discos, construidos de forma robusta, a los cuales están unidos los martillos.**
- **Los martillos son elementos percutores articulados en la unión a los discos.**
- **Cuando el rotor está en reposo, los martillos descansan en él y cuando el rotor gira a elevada velocidad, los martillos toman una posición radial por efecto de la fuerza centrífuga.**
- **Las velocidades del rotor van desde los 20 m/s (trituración normal) hasta 60 m/s (pulverización).**

Triturador de martillos de doble rotor (Cortesía F.L. Smidth)

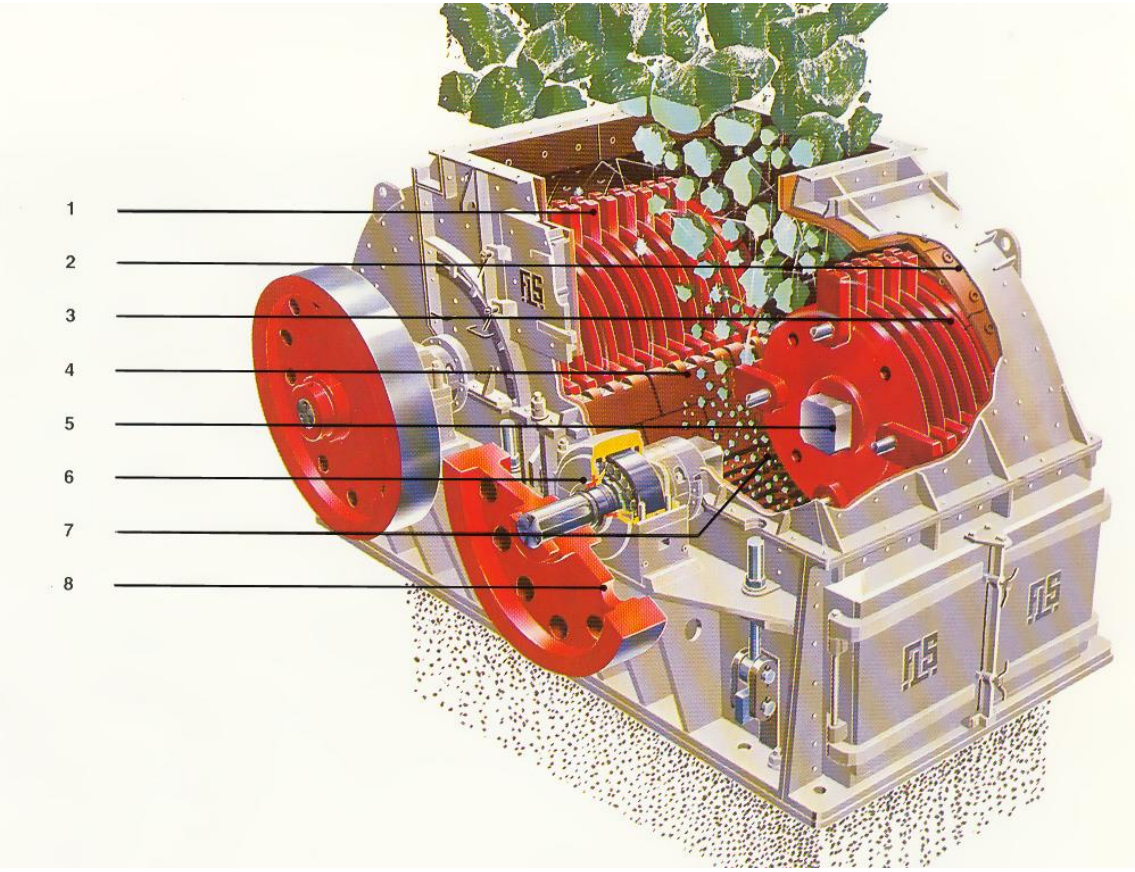


Figura 19

Martillos (Cortesía Sandvik Minerals)

Figura 20

Rotor expuesto con Martillos (Cortesía Sandvik Minerals)

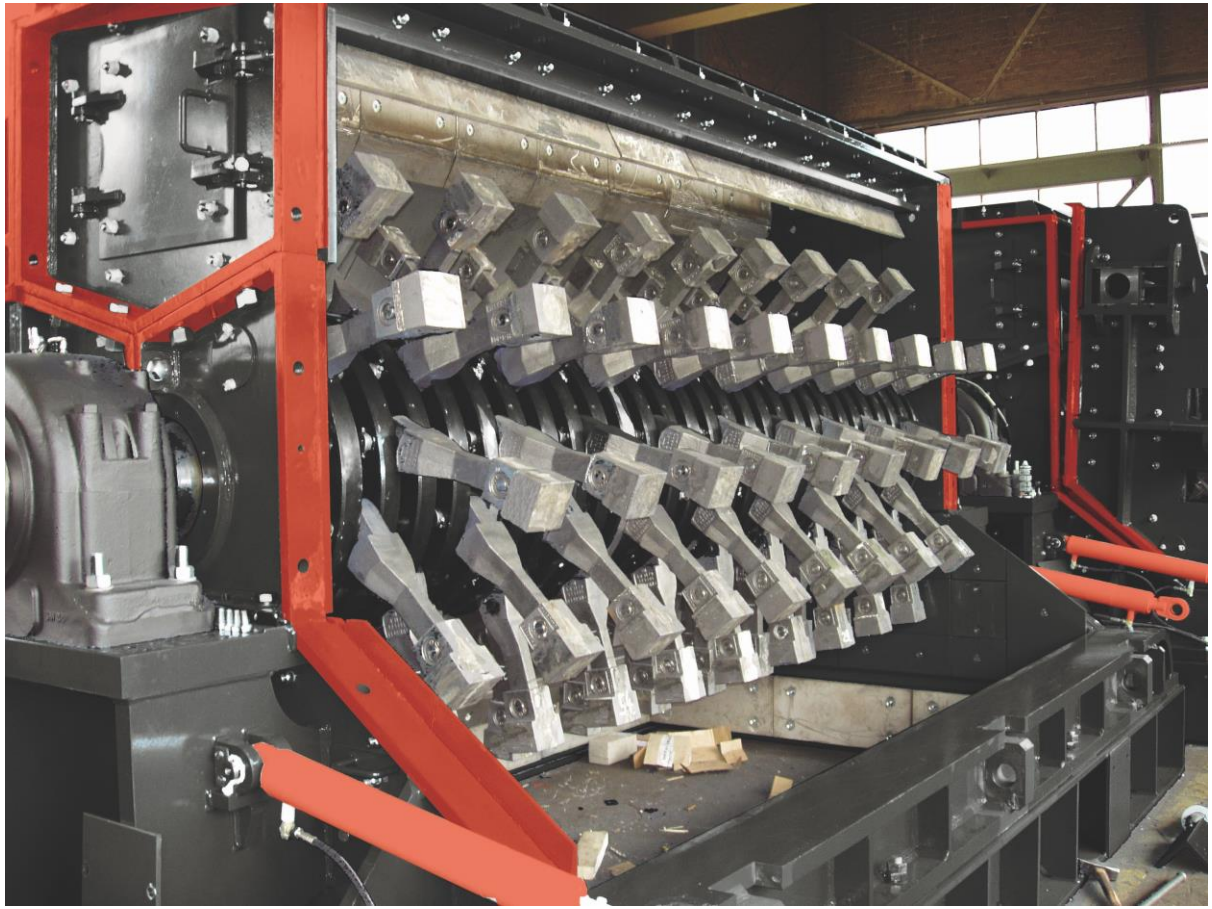
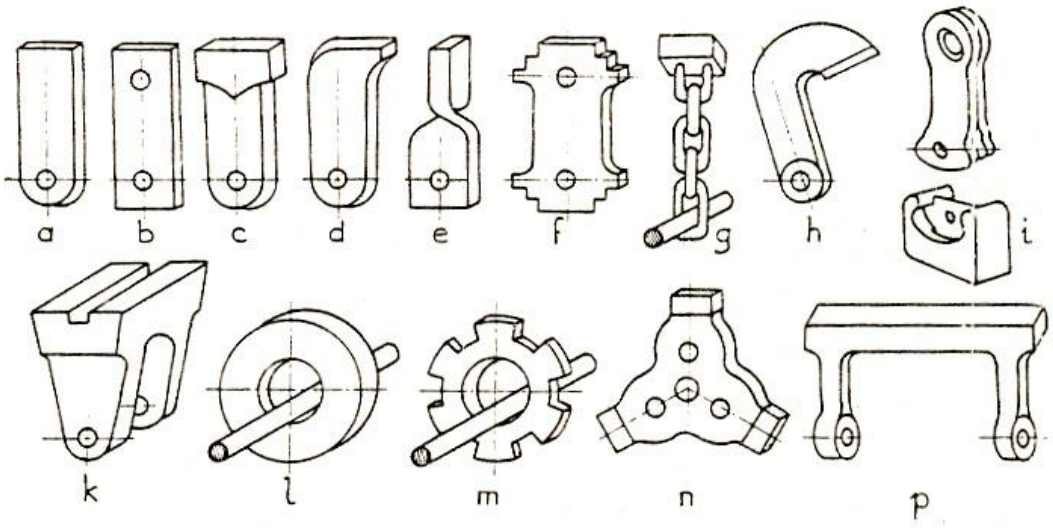


Figura 21

- **En la salida inferior podrán disponer de una parrilla que permitirá el paso de aquellos fragmentos que cumplen con la dimensión de abertura.**

- **Ante la presencia de intriturables, debido a la articulación de los martillos y al no estar rígidos al rotor (lo contrario a lo que ocurre con los impactores), estos retrocederán al golpear a dichos elementos, evitando su rotura.**

- **En función de la aplicación que tendrá el triturador de martillos, éstos pueden tomar diseños diferentes:**



Barra lanzadora rota en un impactor (Cortesía Guerrero)

Figura 22

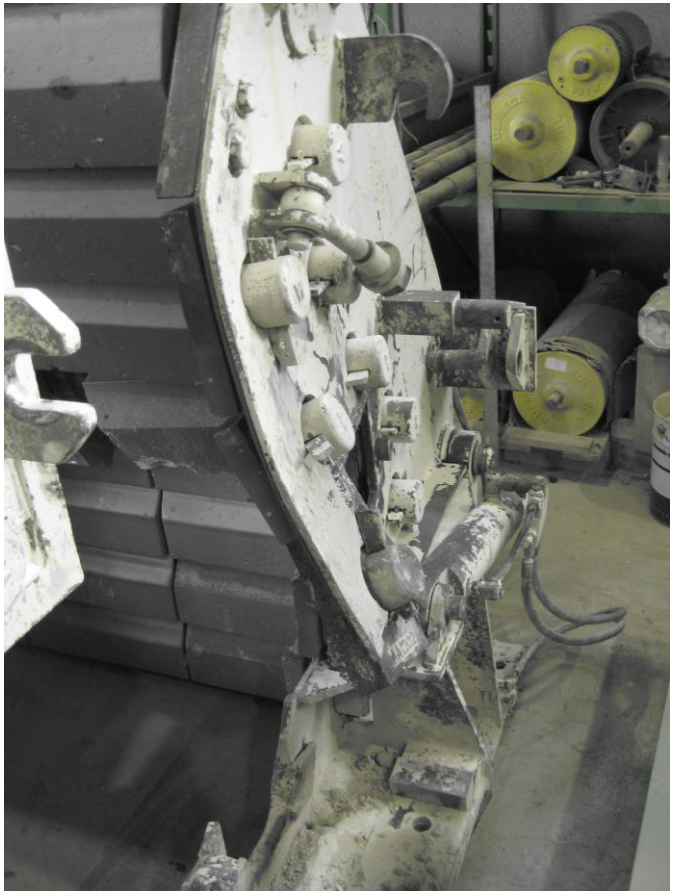
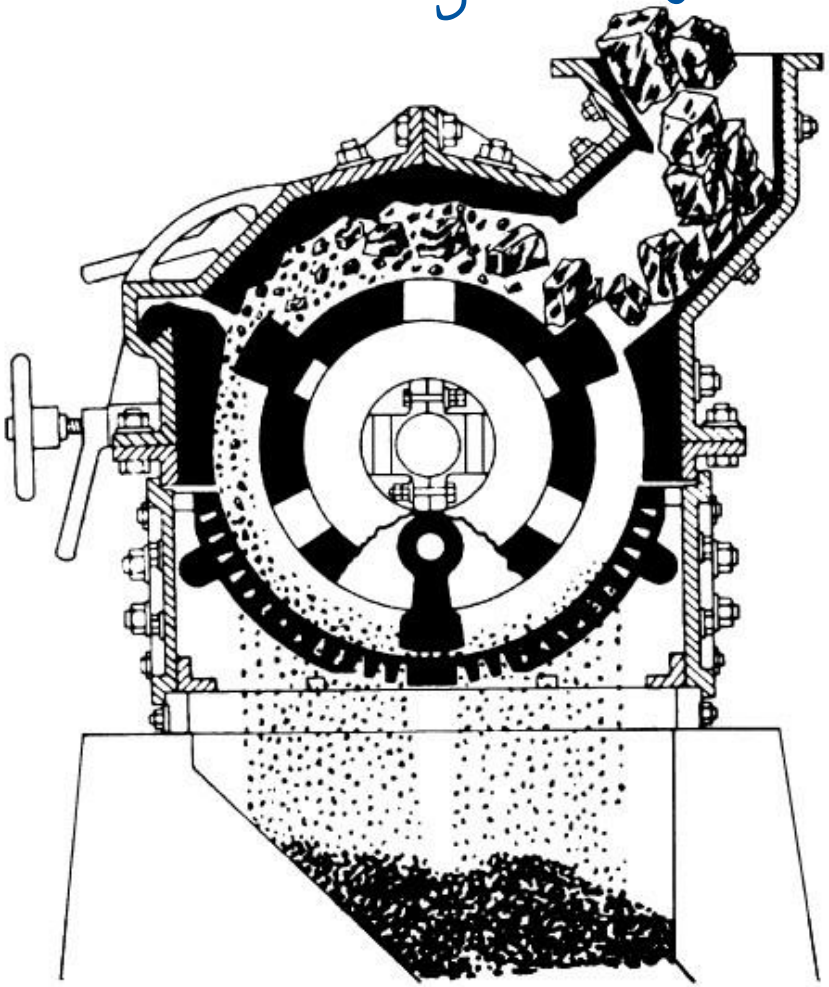


Figura 23

Molino de martillos de un solo rotor y con rejilla inferior

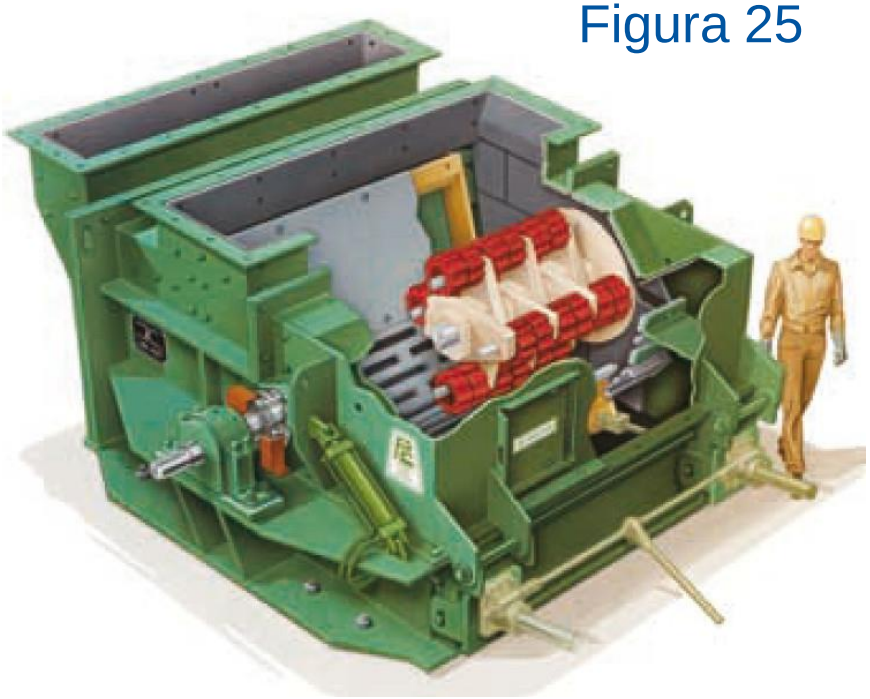


Hammer mill

Figura 24

Equipo granulador de Pennsylvania Crushers

Figura 25



Combina acciones de impacto y compresión por rodamiento: carbones, yeso, sales, productos químicos y materiales de dureza moderada.

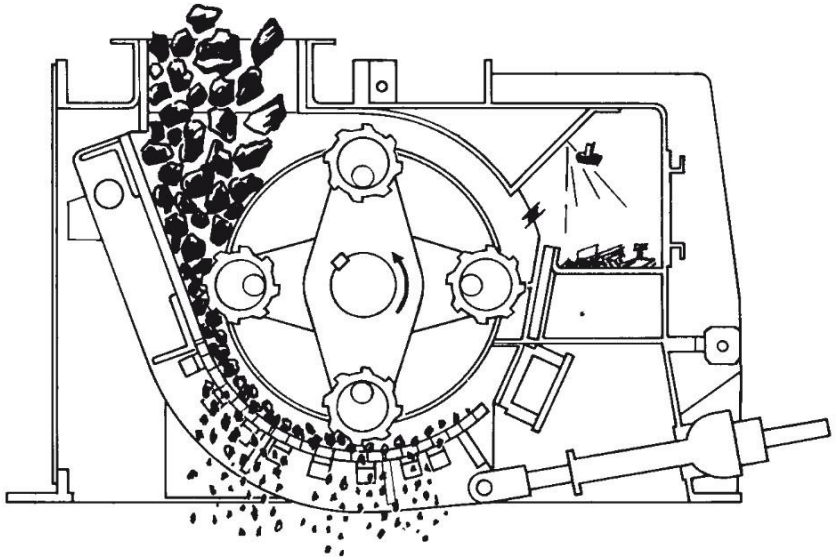


Figura 26

Equipos de martillos de Pennsylvania Crushers

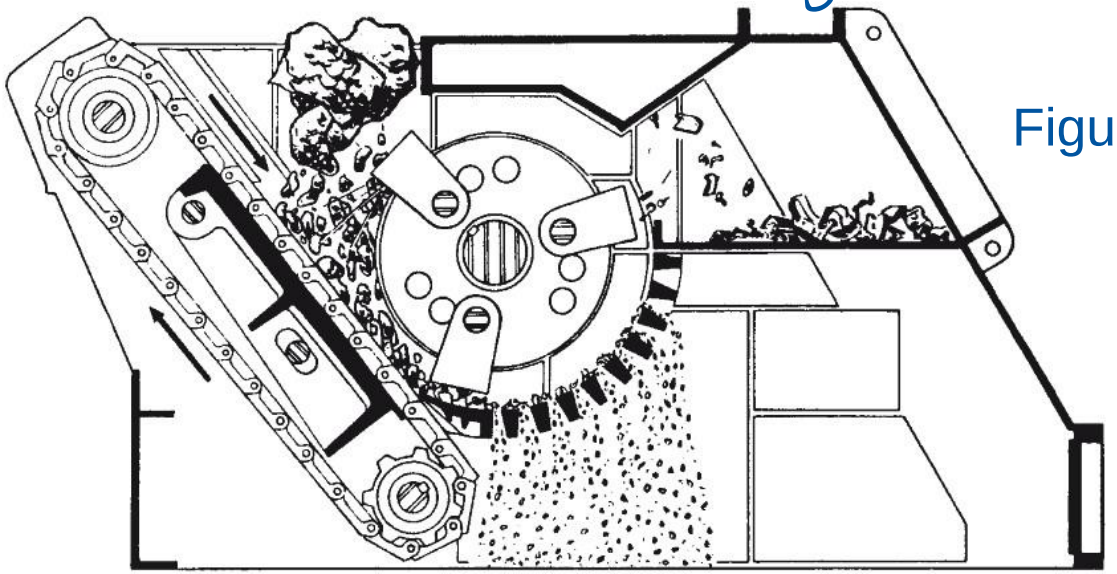


Figura 27

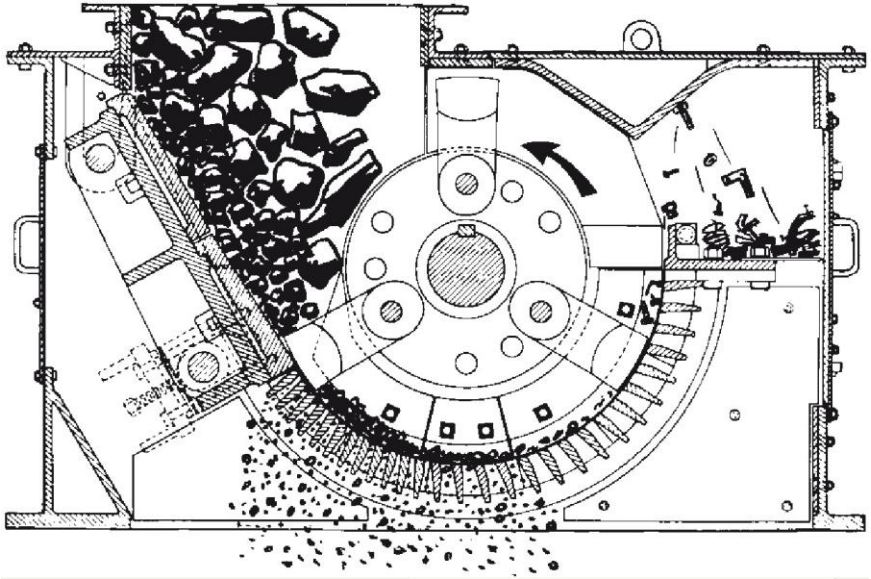


Figura 28

Equipos de martillos no reversibles de *Hammermills Inc.*

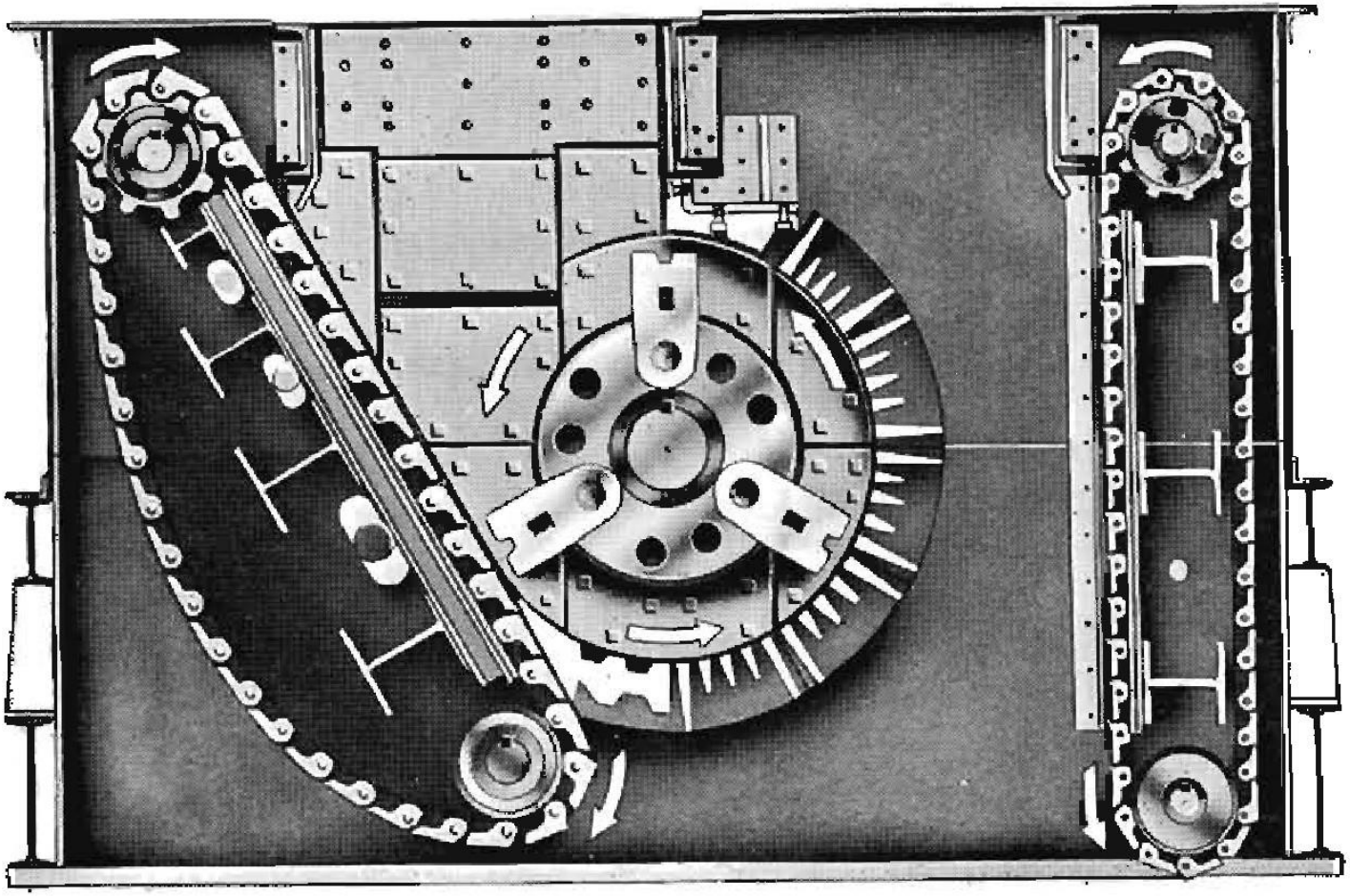


Figura 29

Equipos de martillos reversibles de Pennsylvania Crusher Corp.

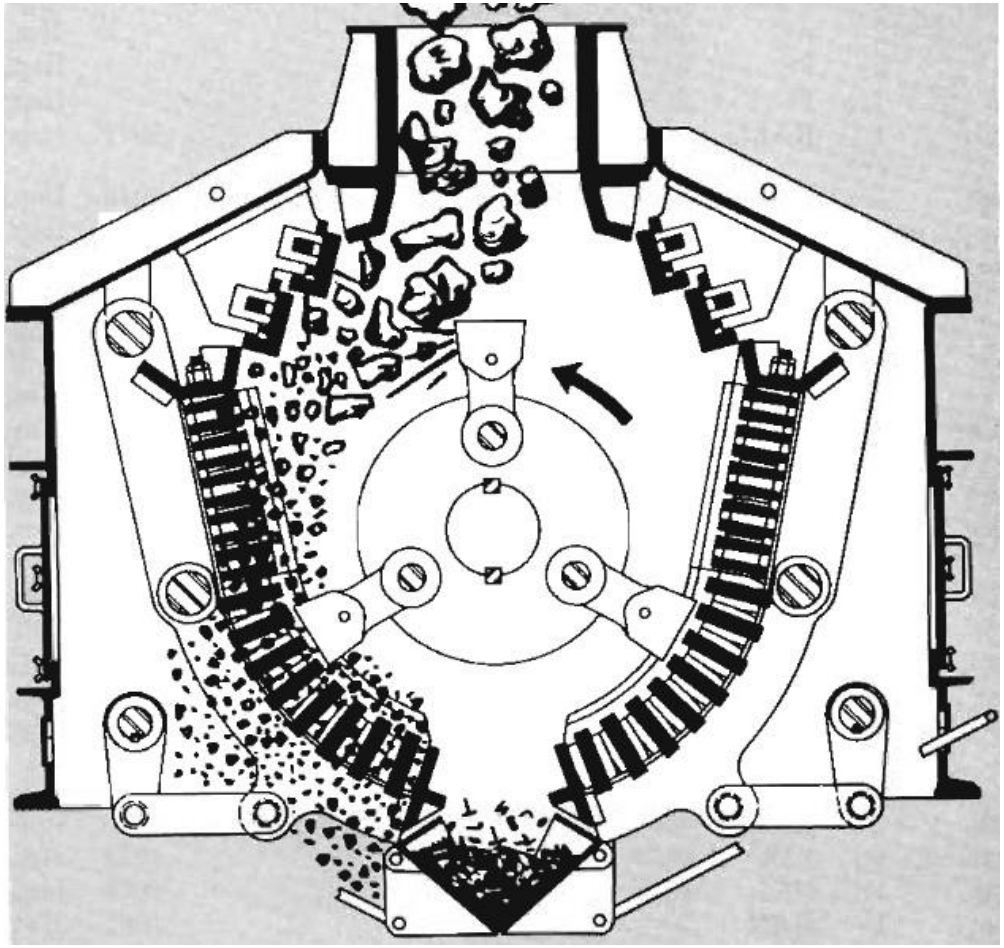


Figura 30

Equipos de martillos no reversibles de Iowa Manufacturing Co.

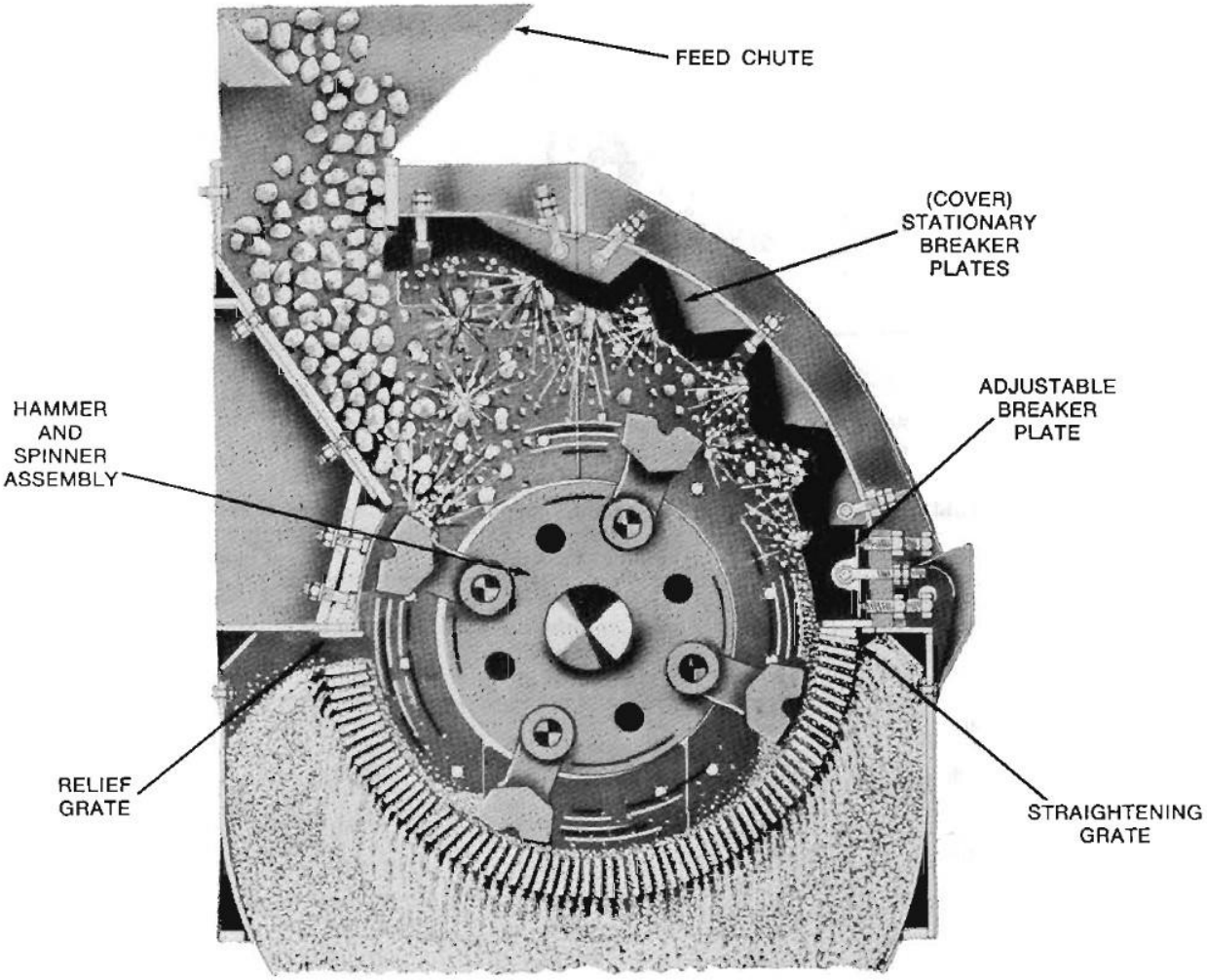


Figura 31

Ventajas

- **Presentan una elevada razón de reducción (10:1 (c.a.); 40:1 (c.c.)).**
- **Son equipos muy adecuados para manejar material pegadizo.**
- **Llevan a cabo una trituración más selectiva (mejor liberación).**
- **Proporcionan un producto con un buen factor de forma (mejor cubicidad).**
- **Son equipos de fabricación simple (menor precio de adquisición).**
- **Mantenimiento simple.**

Inconvenientes

- **No son adecuados para materiales abrasivos, salvo que sean muy blandos.**
- **No son adecuados para materiales duros, salvo que tenga textura estratificada o planos de foliación.**
- **Elevado consumo de acero por el alto desgaste que se produce.**
- **Se necesita regular la altura de alimentación y distribuir la alimentación a lo largo del rotor; para ello se deberán usar tolvas de alimentación.**

Dimensionado de los trituradores de Impacto y Percusión.

Parámetros principales para el dimensionado de un Triturador de Impactos o Percusión:

- **Diámetro máximo (D_{max}) y diámetro del rotor.**
- **Capacidad y reglaje.**
- **Granulometría y porcentaje de paso por la malla de reglaje.**
- **Potencia absorbida y potencial motor.**

D_{max} y Diámetro de los Cilindros

- **El diámetro del rotor viene expresado en función del tamaño máximo del bloque de mineral que hay que triturar (D_{max}):**

- **Trituradoras Primarias**

$$D_{\max} \approx \varnothing_{rotor}$$

- **Trituradoras Secundarias**

$$D_{\max} \approx 0.35 \times \varnothing_{rotor}$$

Reglaje:

- **En estos equipos, el reglaje viene dado como la distancia mínima entre el extremo del percutor, o lanzador, y las placas de impactos.**

Capacidad:

- **La capacidad que puede proporcionar este tipo de equipos viene dada en función de la naturaleza del mineral, no existiendo fórmulas para su cálculo.**

- **Los fabricantes de equipos suelen facilitar tablas y gráficos para estimar de forma aproximada y orientativa esta información.**

Capacidad. Datos de Fabricantes:

Capacities (tons per hour)

APPLICATION	HSI 3036	HSI 4230	HSI 5242	HSI 5252	HSI 5263	HSI 6263	HSI 6284
1-1/2" Product Med. Hard Limestone	70-100	80-120	120-170	180-230	240-320	340-440	480-660
3/4" Product Med. Hard Limestone	65-75	80-90	120-150	150-200	220-320	320-400	430-600
1-1/2" Product Recycling Concrete w/Rebar	50-75	60-90	85-120	110-180	190-250	250-350	300-450
3/4" Product Recycling Asphalt	65-95	75-115	110-150	140-200	240-300	300-375	350-500
Feed Opening (Height x Width)	17"x36"	16"x31"	24"x43"	24"x53"	24"x64"	30"x64"	30"x85"
Maximum Feed Size	9"	12"	16"	16"	16"	20"	20"

Capacities are estimated and may vary for each application.

Telsmith - HSI

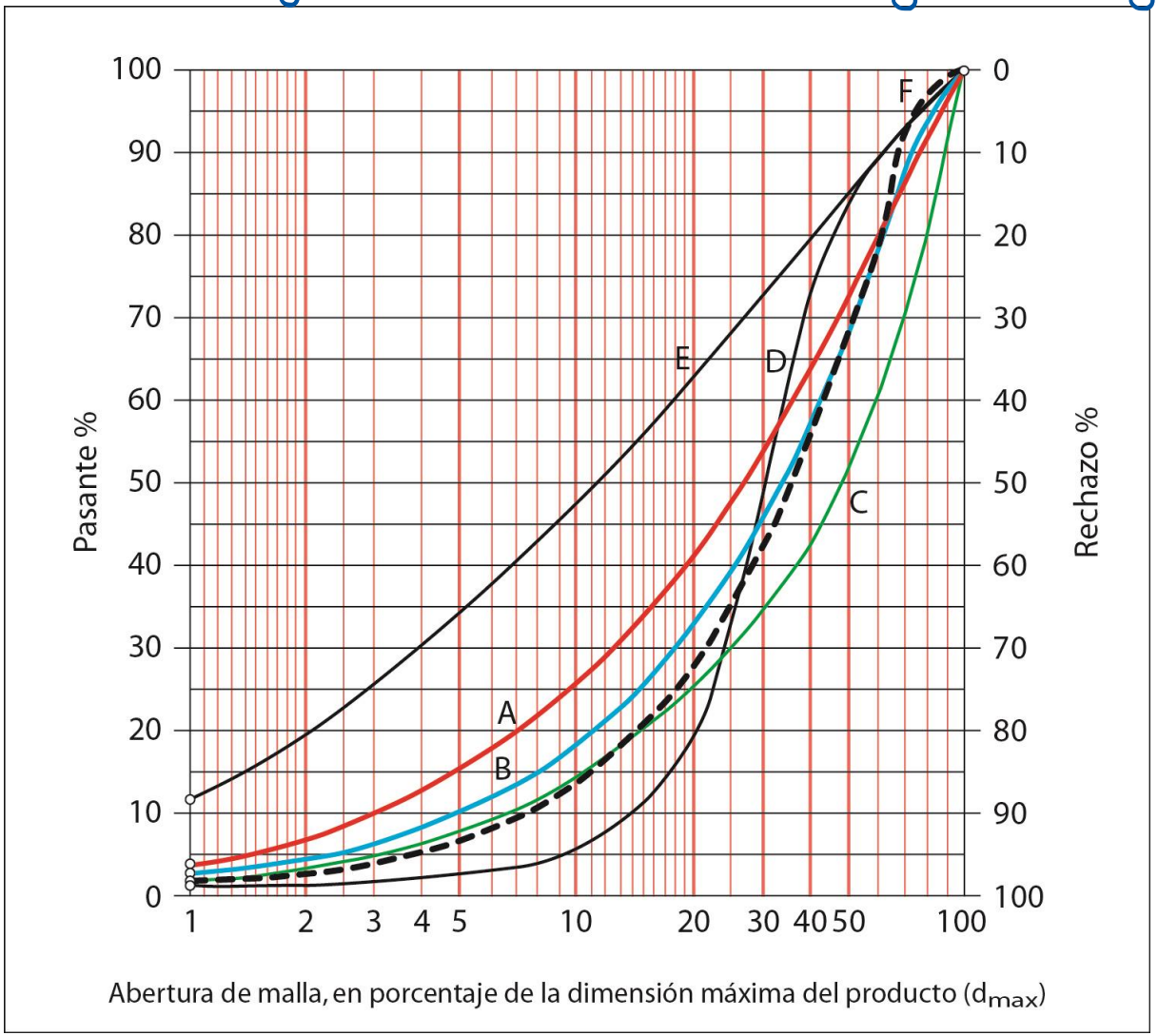
Capacidad. Datos de Fabricantes:

Dimensions mm (in)	CV128		CV129	
A	2130	(83 7/8")	2130	(83 7/8")
B	931	(36 5/8")	941	(37)
C	2444	(96 1/4")	2444	(96 1/4")
D across flats	1216	(47 7/8")	1216	(47 7/8")
E	2090	(82 1/4")	2090	(82 1/4")
F	1420	(56)	1420	(56)
G	5500	(216 1/2")	5500	(216 1/2")
H	3061	(120 1/2")	3071	(120 1/2")
I	3090	(121 5/8")	3090	(121 5/8")
J	2482	(97 3/4")	2476	(97 3/4")
K	3018	(118 7/8")	3018	(118 7/8")
L	4355	(171 1/2")	4355	(171 1/2")
M	1500	(59)	1500	(59)
N	2228	(87 3/4")	2228	(87 3/4")
O	2750	(108 1/4")	2750	(108 1/4")
Weight kg (lbs)	14826	(32686)	14826	(32686)
Max. feed size mm (in)	55	(2 3/16")	55	(2 3/16")
Capacity range tph (short tons)	251 - 444	(276 - 489)	445 - 600	(490 - 661)
Rotor rpm range (60 Hz speed)	1401 - 1677	(1408 - 1666)	1401 - 1677	(1408 - 1666)

Sandvik - VSI

Granulometría:

La granulometría del producto obtenido con un triturador de impactos se asemeja a la curva B de la siguiente figura.



Granulometría:

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

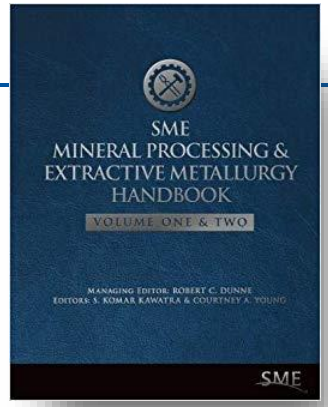
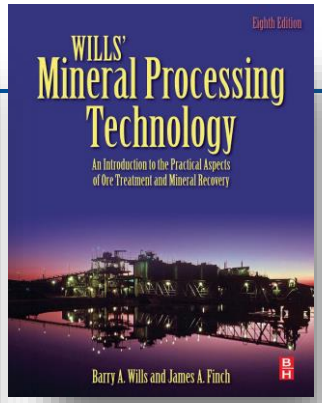
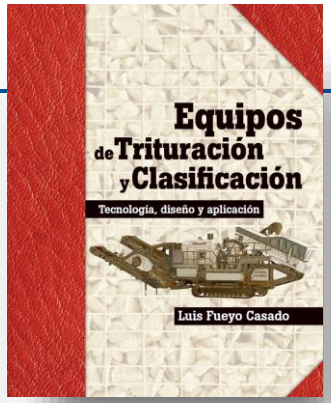
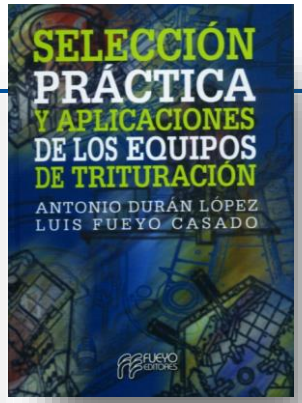
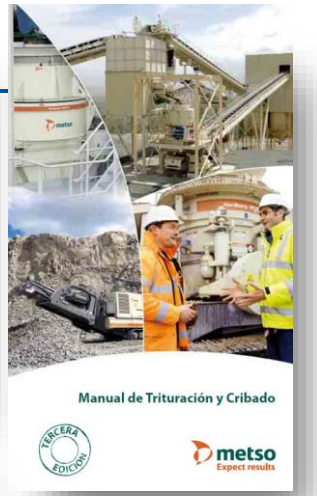
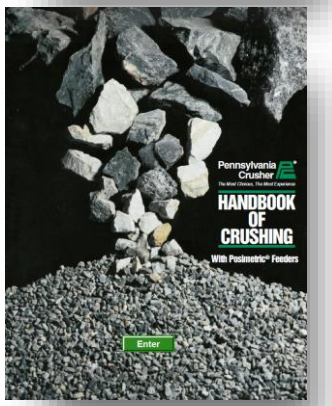
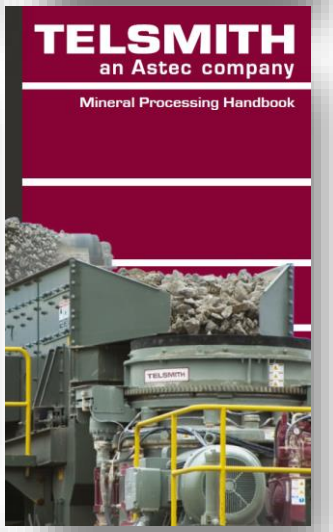
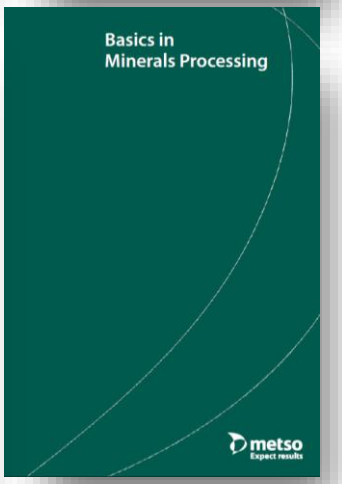
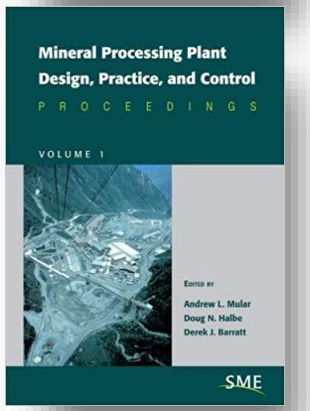
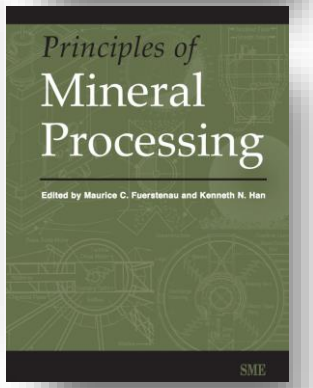
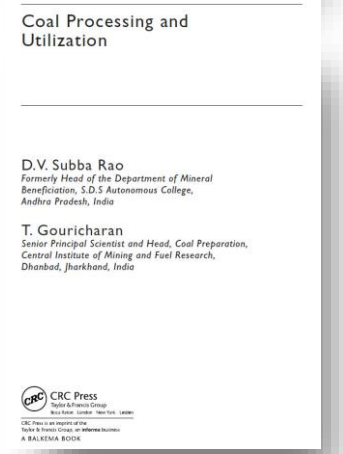
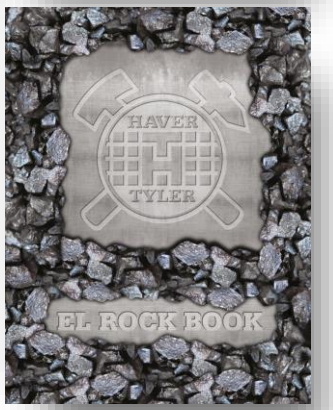
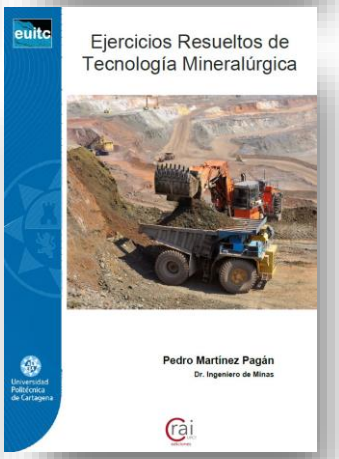
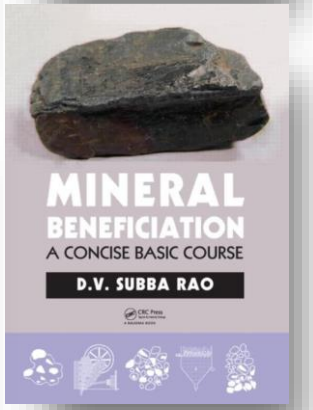
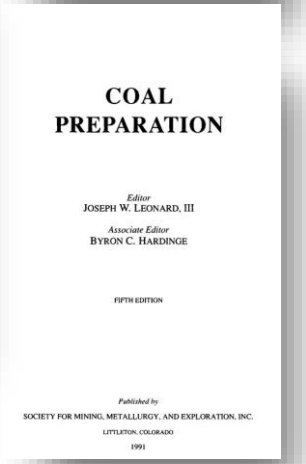
- Según HAZEMAG: 93-95% de paso.
- Según NORDBERG (METSO): 50-80% de paso.

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 un triturador de impactos (o de martillos) es igual a: $P_m = 1.6 \cdot P_a$**

Referencias: