



fives fcb

## RHODAX® QUEBRADORA INERCIAL



**UN CONCEPTO NUEVO EN LA TECNOLOGÍA DE LA  
TRITURACIÓN Y DE LA MOLIENDA**



**Fives FCB**

50, rue de Tieléni - B.P.376 - 59666 Villeneuve d'Ascq Cedex - FRANCE

Tél : +33 (0)3 20 43 77 77 - Fax : +33 (0)3 20 43 75 75 - E-mail : [fivesfcb@fivesgroup.com](mailto:fivesfcb@fivesgroup.com)

S.A. au Capital de 8 038 000 € - 410 109 698 R.C.S. Lille - SIRET 410 109 698 00036 - TVA n° FR 21 410 109 698 - APE 742C

[www.fivesgroup.com](http://www.fivesgroup.com)

## 1 – LOS LIMITES DE LA TECNOLOGÍA CONVENCIONAL

En general, las fuerzas de trituración en una quebradora cónica son aplicadas por intermedio de dos superficies de trituración que se están moviendo rápidamente en una trayectoria definida y rígida.

El chasis soporta la coraza (parte fija). La parte movable (manto) protegiendo el cono central (pera) que está en rotación adentro del cuerpo y alrededor de un punto de pivotado. La rotación es realizada por medio de un mecanismo excéntrico montado en la base del eje.

La granulometría del producto a la salida de la quebradora depende de la distancia mínima entre las corazas en la salida al lado cerrado. Este reglaje debe ser ajustado regularmente para compensar el desgaste de los blindajes, eso para conservar el calibre, la calidad y el caudal del producto final.

Estas son algunas de las limitaciones de las quebradoras cónicas tradicionales :

- El tamaño mínimo del producto final es limitado en alrededor de 4 mm a la salida de una quebradora cónica tradicional. Si se trata de introducir un producto de tamaño inferior, o de procesar granulometrías 0/D conteniendo finos, la acumulación de partículas en la cámara puede iniciar atestaciones y por consecuencia desarrollar unos esfuerzos muy importantes en la quebradora, acabando en pérdidas de energía no despreciables. Teniendo en cuenta la rigidez de la estructura y el movimiento impuesto de la carrera por una cadena cinemática rígida de esas máquinas, esos esfuerzos pueden generar deformaciones elásticas importantes de la quebradora y provocar rupturas mecánicas. Además, no es práctico concebir máquinas con una solidez mecánica suficiente como para conseguir unas razones de reducción superiores a 7.
- Grandes pedazos de material que no se puede triturar (trozos de acero) y que pasan por la cámara de trituración, hacen daño al funcionamiento y a la fiabilidad de las quebradoras cónicas tradicionales. La presencia de partículas extremadamente duras puede provocar los mismos problemas (partículas de tamaño crítico).

En consecuencia, las quebradoras cónicas tradicionales están dotadas de un sistema de protección para que el cuerpo o el cabezal ceda en caso de que un pedazo de material no triturable entre la cámara de trituración. Sin embargo, ese sistema no es completamente fiable y provoca un paro de mantenimiento (vaciar la cámara y reemplazar el sistema de seguridad).

Desde el fin de los años 80, ha empezado a considerarse el principio de molienda en lecho de material, donde las fuerzas de molienda son transmitidas internamente en un lecho de partículas así que las partículas se muelen unas contra otras, más bien que como resultado de una molienda donde las partículas son impactadas entre dos superficies de molienda.

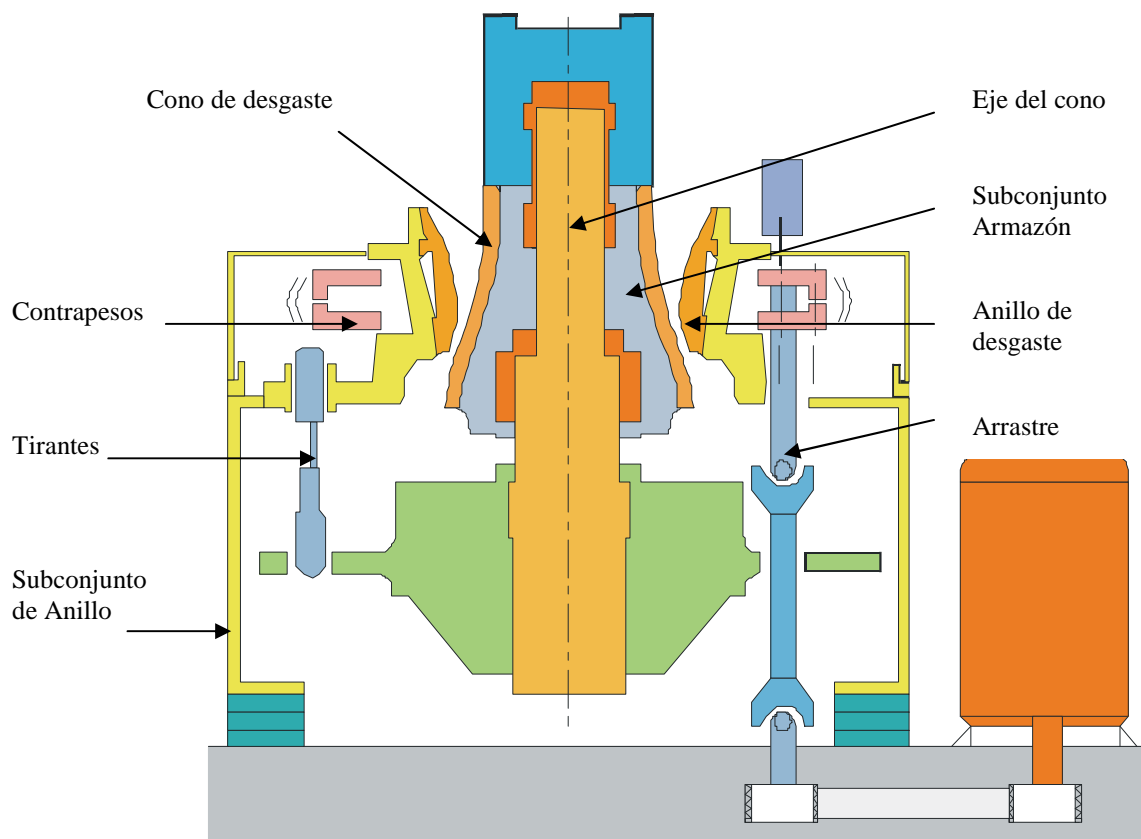
Dicha tecnología ha sido ampliamente aceptada, principalmente en la industria del cemento para la molienda de clinker y de escoria en prensas de rodillos de alta presión, molinos verticales y Horomill®.

Sin embargo, en la industria minera, los materiales son generalmente muy abrasivos y los costos de operación son prohibitivos debido a las importantes tasas de desgaste.

## 2 – PRINCIPIO OPERACIONAL DEL RHODAX®

El concepto del Rhodax® es el resultado de un programa de investigación y desarrollo iniciado al principio de los años 90 por Fives FCB.

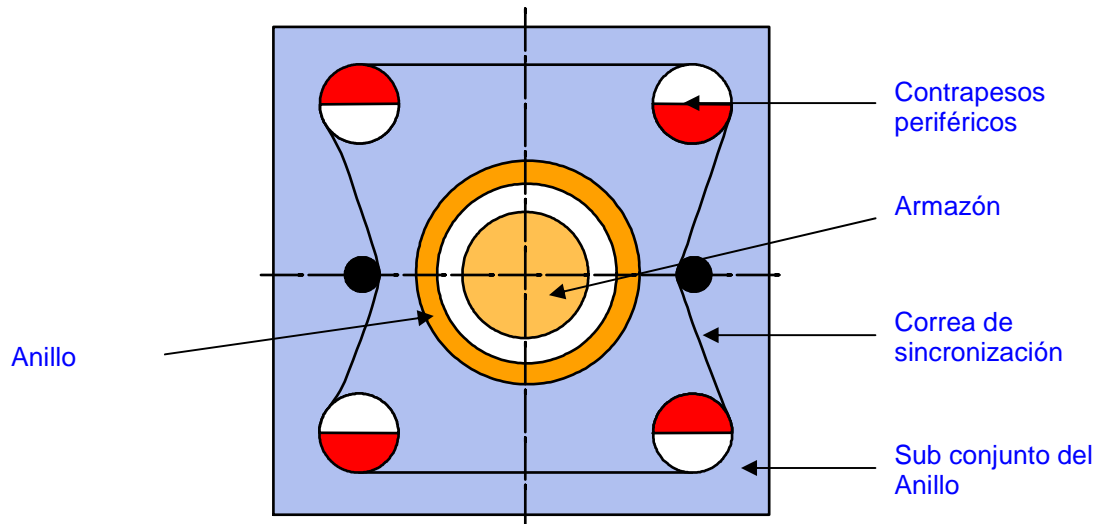
El Rhodax® es una quebradora inercial. El subconjunto de “Anillo” consiste en un chasis que soporta el anillo (pieza de desgaste). El subconjunto “Armazón” consiste en una estructura que soporta un eje vertical y el cono de desgaste. El Armazón está suspendido del Anillo por medio de tirantes y rotulas. El Anillo es soportado por suspensiones elásticas para filtrar la transmisión de vibraciones al medio ambiente. Por ello, no se necesita fundaciones robustas para la instalación del Rhodax®.



**Figura 1 : Sección del RHODAX®**

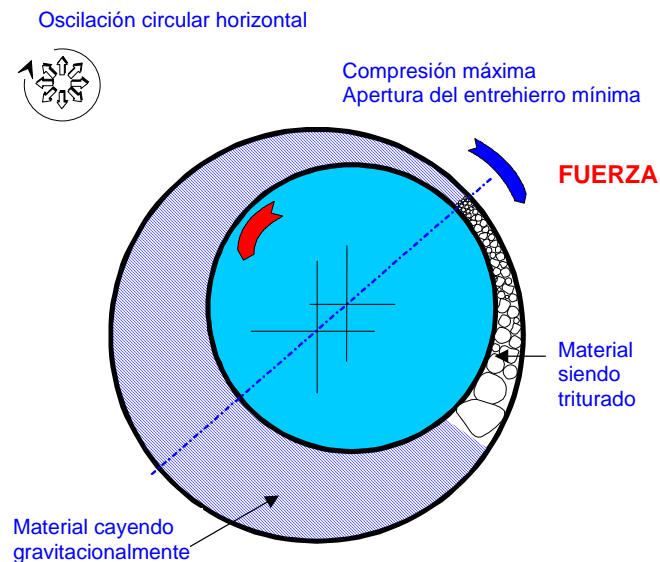
En una quebradora cónica tradicional, la parte móvil es el Cono, el que es impulsado por un conjunto de giro excéntrico. El movimiento máximo del Cono, conocido como “Carrera” es fijo y las fuerzas de molienda desarrolladas no se pueden controlar.

Al contrario, la parte móvil en el Rhodax® es el Anillo, en tanto que el conjunto del Armazón es sostenido por medio de tirantes que le permiten desviarse con las fuerzas de molienda aplicadas. El Cono (coraza del Armazón) rota libremente alrededor del eje central.



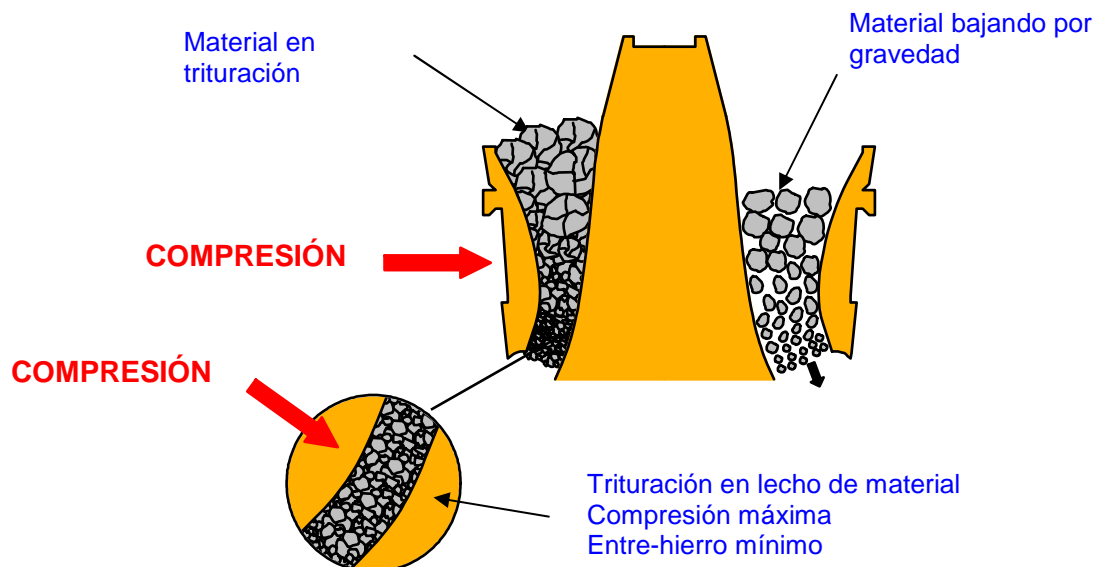
**Figura 2 : Vista desde abajo del RHODAX®**

En la operación del Rhodax®, el Anillo describe un movimiento circular horizontal uniforme provocado por la rotación de los contrapesos periféricos (ver figuras 2 y 3). Los contrapesos están sincronizados y ejercen una fuerza perfectamente controlada. El hecho de que la fuerza de inercia sea controlada hace que el Rhodax® sea insensible a los materiales no-triturables ; al contrario de los equipos tradicionales con fuerza mecánica directa no-controlada.



**Figura 3 : Principio del RHODAX®**

En operación, el movimiento circular horizontal genera un ciclo en el cual las dos partes de la cámara de trituración se mueven acercándose y alejándose la una de la otra. Dentro de cada ciclo, el material es sometido a la fuerza de trituración en la fase de compresión, y después pasa por una fase de caída gravitacional cuando el material puede descender en la cámara hasta el próximo ciclo de compresión.



**Figura 4 : Principio del RHODAX®**

Durante el recorrido vertical completo del material a través de la cámara, este material es sometido a una serie que va de 3 a 6 ciclos de compresión / liberación. La sección de la cámara de trituración (corregida de la carrera) disminuye progresivamente desde la entrada hasta la salida. Como consecuencia, el material es sometido a un estrechamiento más y más intenso a medida que baje. El punto de estrechamiento máximo se sitúa al bajo de la cámara. Como resultado, un lecho de material se forma en la parte baja de la cámara de trituración, donde se aplica la presión nominal.

**El Rhodax® es por lo tanto una máquina de trituración en lecho de materia por compresión múltiple.**

Los siguientes tres parámetros pueden ser ajustados y optimizados durante la operación en el Rhodax® :

- la abertura del entre-hierro entre el cono y el anillo
- la velocidad de rotación de los contrapesos
- la fase de los contrapesos

El entre-hierro controla principalmente el caudal de material a través del Rhodax® e indirectamente la potencia. El entre-hierro es controlado hidráulicamente, ajustando la posición vertical del subconjunto del Armazón que está montado sobre abrazaderas deslizantes.

Este sistema permite también al operador compensar la apertura del entre-hierro por desgaste aun cuando la máquina está en funcionamiento.

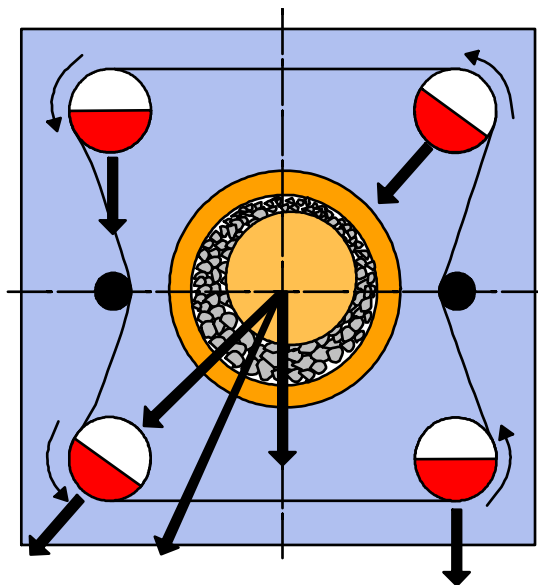
Este mismo sistema de control hidráulico de la posición del Cono permite abrir largamente la parte de descarga, ampliando el entre-hierro. Así se extraen fácilmente las grandes piezas non-triturables.

La velocidad de rotación y la fase de los contrapesos imponen la fuerza de trituración, y controlan la granulometría del producto final y por lo tanto la energía absorbida por la máquina.

La velocidad de rotación de los contrapesos es ajustada para cada aplicación. Cuando se requiere una presión máxima sobre el lecho de material (hasta 50MPa), el Rhodax® funciona con la velocidad máxima (velocidad nominal).

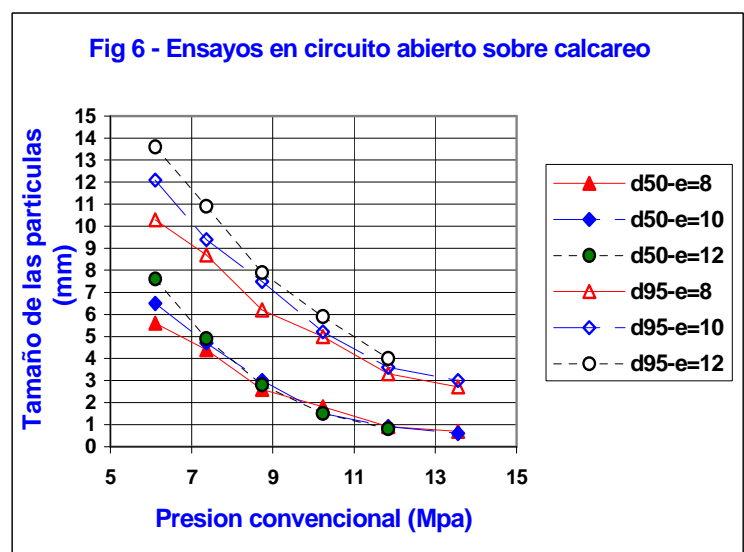
Al contrario, cuando el proceso requiera una presión baja (es decir, para la producción de un producto con un mínimo de finos), la velocidad será la más baja posible siempre que sea compatible con la rentabilidad del proceso.

La fase de los contrapesos puede también ser ajustada a distancia por medio de motores hidráulicos de rotación para mantener la fuerza de trituración en su punto óptimo para el proceso elegido, a la excepción de los Rhodax® de 300 HP y 450 HP, en los cuales la fuerza de trituración está controlada por medio de un variador de frecuencia en el motor.



**Figura 5 :  
Fuerza desarrollada por  
contrapesos en posición  
intermedia**

Ensayos diversos han sido realizados sobre roca calcárea en circuito abierto, con velocidades y entre-hierros diversos. Los resultados resumidos en la figura 6, muestran que la razón de reducción es esencialmente independiente de la abertura del entre-hierro y en realidad es función de la velocidad de rotación de los contrapesos (fuerza aplicada). Eso confirma que la trituración tiene lugar en el lecho de material por molienda inter-partículas, y entonces es función de la presión aplicada en el lecho de material.





Esta importante característica permite utilizar el Rhodax® para la producción de material muy fino, sin limitaciones, al revés de las quebradoras tradicionales, donde la abertura del entrehierro tiene influencia directa sobre la granulometría del producto final, la que no puede ser reducida bajo los 5 a 10 mm.



### 3 – CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL RHODAX®

#### ➤ **Control total del proceso**

Los tres parámetros de control (apertura del entre-hierro, velocidad de los contrapesos y fase de los contrapesos) permiten al operador controlar completamente el proceso :

- control del caudal de material triturado (y de la potencia) principalmente por la apertura del entre-hierro
- control de la granulometría (y de la potencia) principalmente por la fase y la velocidad de rotación de los contrapesos. La velocidad de rotación también influye en el caudal pasando por el Rhodax®, pero en menor medida.

Modificando y ajustando los parámetros indicados más arriba, el operador puede controlar precisamente la granulometría del producto final.

#### ➤ **Vida útil alargada**

En la cámara de trituración del Rhodax®, una sola fuerza de compresión es aplicada en el lecho de material. Debido a la ausencia de impacto directo en el Rhodax® sobre las piezas de desgaste (corazas), una pieza de desgaste con resistencia mucho mayor puede ser utilizada en comparación con los equipos de trituración clásicos. El chancador Rhodax® se suministra con una coraza en hierro de fundición con 24% de cromo y con un anillo en acero martensítico, lo que resulta en un tiempo de vida útil alargado.

Otro factor que tiene influencia sobre la vida útil de las piezas de desgaste es el hecho de que en el proceso de molienda en lecho de material, hay mucho menor interacción directa entre las partículas y las piezas de desgaste.

#### ➤ **Ahorro de energía**

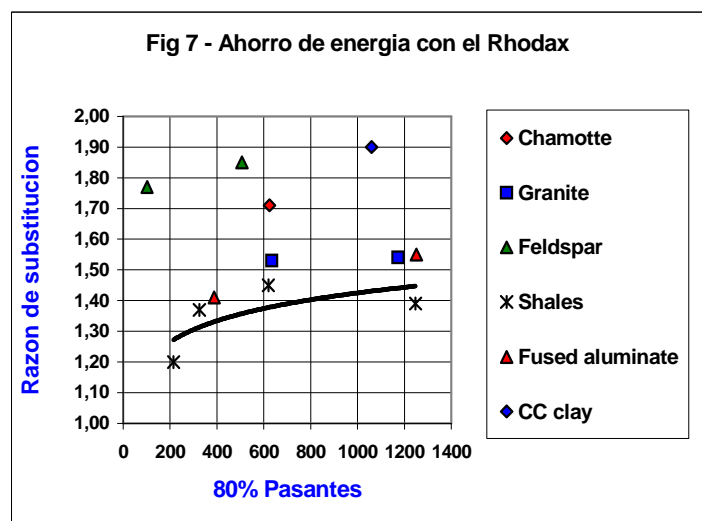
La molienda en lecho de material permite un ahorro de energía mayor, comparado con las tecnologías convencionales. Eso vale para la quebradora Rhodax® en el dominio de la trituración fina o gruesa.

Para comparar el Rhodax® con el molino de bolas en vía seca (ver referencia), la razón siguiente puede ser utilizada :

$$\tau = \text{energía específica del molino de bolas} / \text{energía específica del Rhodax®}$$

A mayor razón, mayor es el ahorro de energía ( $\tau = 2$  quiere decir que el Rhodax® procura un ahorro de energía de 50% comparado con un molino de bolas en vía seca para el mismo objeto).

Aunque no es fácil comparar el consumo energético para el tamaño de partículas considerado (algunos milímetros), todos los ensayos han mostrado un ahorro de energía entre 10 y 35% (ver gráfico más abajo) para el Rhodax®.





## 4 – VENTAJAS DEL PROCESO

### 4.1. Razón de reducción alta

El Rhodax® es bien conocido por su alta razón de reducción de tamaño de hasta 100:1, dependiendo de la aplicación. La alta razón de reducción es realizada por la concepción única del perfil de la cámara. Cada paso consecutivo por la cámara empieza con una etapa de trituración por compresión y se completa con una etapa de trituración entre partículas en el lecho de material.

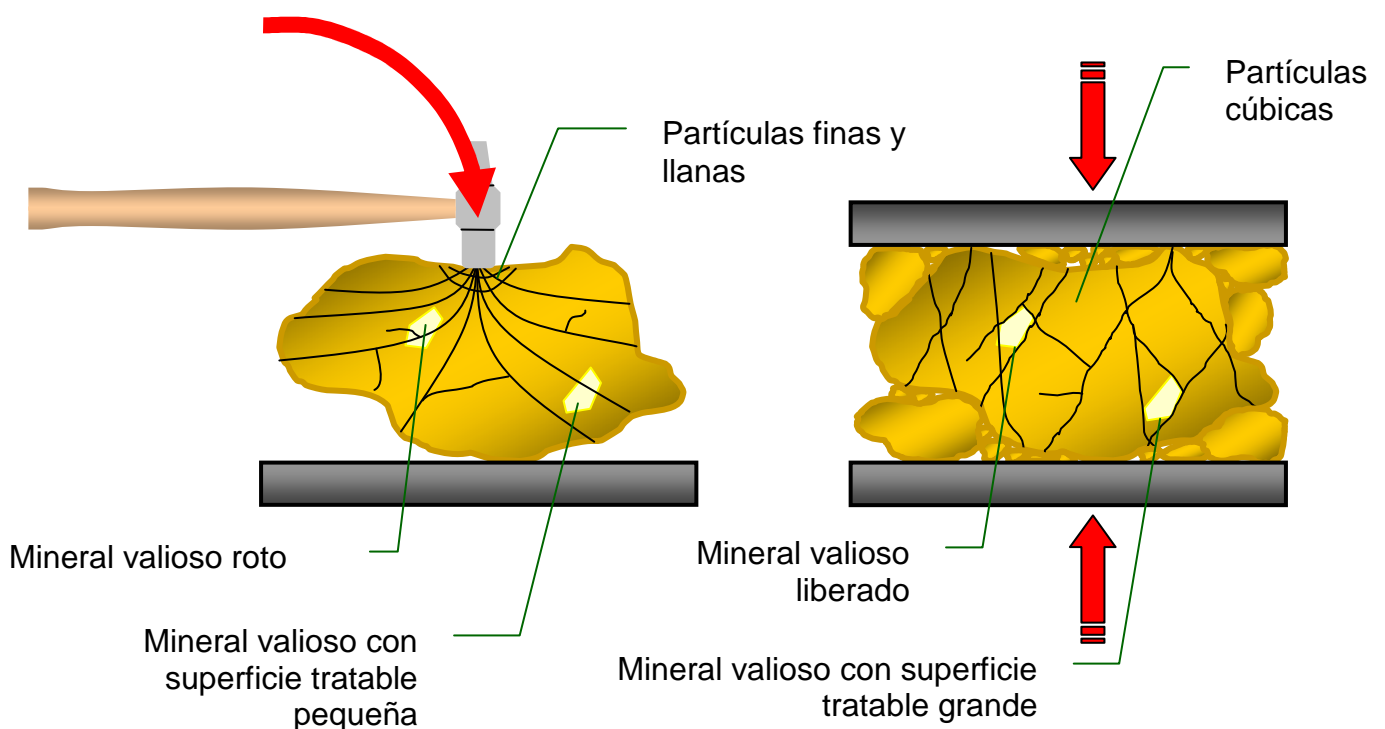
El entre-hierro nominal casi no tiene influencia sobre la granulometría del producto, lo que demuestra el efecto de la trituración en lecho de material, así que típicamente un entre-hierro de 40mm puede producir una gran cantidad de producto final de diámetro de partículas < 1mm.

### 4.2. Efecto de liberación

Los dos aspectos siguientes son los efectos que contribuyen principalmente a la liberación de los minerales de valor comercial :

- La fuerza de trituración aplicada al producto es controlada por medio de la velocidad de rotación, de la resultante de los contrapesos y de la abertura del entre-hierro.
- Como consecuencia de la molienda en lecho de material, la fuerza es transmitida por pura compresión al material.

La combinación de esas formas de aplicación de la energía resulta en la formación de grietas siguiendo las líneas naturales de fractura del mineral y al desarrollo de fracturas debidas a las características propias del material (rozamiento y cohesión internas), en lugar de una fractura a través del grano natural, como se puede ver en los dibujos más abajo.



## 5 – APLICACIONES DEL RHODAX®

El Rhodax® ha sido desarrollado para conseguir productos de trituración que no podían fácilmente conseguirse con la tecnología existente, especialmente cuando se procesa materiales duros y abrasivos. Por su especial diseño, el Rhodax® cubre aplicaciones tanto de quebradora como de molino primario (es decir chancadores terciario y cuaternario o de molinos de barras). El Rhodax® consigue su eficiencia máxima en circuito cerrado con un harnero de una abertura de 1 mm.

### 5.1. Minerales industriales

Al empezar el desarrollo del Rhodax®, FCB decidió concentrarse en los minerales industriales, principalmente porque la mayoría de esos productos son tratados por vía húmeda. Una aplicación típica es la trituración de la arcilla calcinada (chamotte) en la industria de la cerámica.

Dos máquinas fueron puestas en marcha en esta aplicación específica, en 1996, trabajando en circuito cerrado con un harnero. Cada una de esas dos máquinas fue instalada para reemplazar equipos correspondientes a dos o tres etapas de trituración/molienda. Los resultados están resumidos en la tabla 1.

	<b>RHODAX® 300 HP</b>	<b>RHODAX® 450 HP</b>
TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN	100% < 50 mm	100% < 50 mm
PRODUCTO FINAL	100% < 800 µm	100% < 500 µm
CAUDAL	2 t/h	4 t/h
ENERGIA ABSORBIDA	15 kW	35 kW
AHORRO DE ENERGIA	Aprox. 20%	Aprox. 25%
CONTAMINACIÓN POR DESGASTE	80 g/t	80 g/t

**TABLA 1 : Resultados con arcilla calcinada**

Otra ventaja del Rhodax® es el bajo nivel de contaminación del producto final (típicamente desde tres hasta cuatro veces menor). Eso reduce considerablemente la necesidad de grandes equipos de separación magnética y evita la coloración del producto final (calcáreo, arcilla calcinada).



**RHODAX® 300 HP  
TRITURACIÓN DE  
ARCILLA CALCINADA**

## 5.2. Industria minera

Fives FCB decidió acercarse a este importante mercado instalando una unidad piloto en Sudáfrica (Rhodax® 300 HP). Diferentes menas han sido probadas en circuito cerrado con harnero.



**RHODAX® 300 HP  
UNIDAD PILOTO**

Las siguientes aplicaciones específicas están siendo estudiadas para el uso del Rhodax® :

- reducción del número de etapas de trituración/molienda en un circuito de molienda
- trituración previa de rocas de tamaño crítico en los circuitos con molinos autógenos
- trituración de mineral aurífero, con una buena tasa de recuperación, y con una granulometría más grande del producto final. La razón de esa mejor liberación es la formación de micro-grietas según las líneas de contacto de las partículas minerales discretas y la matriz.

### 5.2.1 Industria del diamante

También han sido realizados ensayos con mineral de kimberlita. Como resultado, un Rhodax® 600 HP (132 kW) ha sido instalado en una planta piloto de diamantes para probar el efecto de la trituración en lecho de material sobre la liberación de los diamantes sin romper los diamantes (molienda diferencial). La planta trabaja en vía húmeda.



**PLANTA PILOTO  
RHODAX® 600 HP  
MINERAL DE  
KIMBERLITA**

### 5.2.2. Industria del platino

Una reciente instalación de Rhodax® 1000 HP en la industria del platino ha sido puesta en marcha con gran éxito. Elegido principalmente por su alta razón de reducción, el Rhodax® es utilizado en la trituration de mata de platino. La mata procesada es después enviada a otro Rhodax® de 450 HP, antes de entrar al molino de bolas de la refinera.

	RHODAX® 1000 HP
TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN	100% < 110 mm
PRODUCTO FINAL	100% < 2,4 mm
CAUDAL	70 t/h
POTENCIA ABSORBIDA	290 kW

### 5.3. Industria del Aluminio

El Rhodax® es utilizado en varias aplicaciones para la industria del aluminio :

- para la trituration de coke y molienda en la fábrica de ánodos, con un Rhodax® 450 HP (55 kW)
- para la trituration de desperdicios de anodas crudos y cocidos
- para la molienda de las catodas de las tinas en coke metalúrgico

### 5.4. Productos derivados de la pirometalúrgica

Varias operaciones pirometalúrgicas producen escorias. Escorias cristalizadas de alto horno son producidas durante la fabricación del hierro de fundición. La escoria es un material poroso y cristalino que contiene hasta 5% de hierro de fundición que no se puede moler. La insensibilidad del Rhodax® a las piezas de hierro non-triturables es una ventaja distintiva para esa aplicación.

Un Rhodax® 1000 HP (440 kW) fue puesto en marcha en Enero de 1997. Los resultados de esa planta con Rhodax® en circuito cerrado con harnero se resumen abajo :

TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN	100% < 150 mm
PRODUCTO FINAL	100% < 20 mm
CONTENIDO EN HIERRO LIBRE	+/- 4% (up to 80 mm)
CAUDAL	130 t/h
POTENCIA ABSORBIDA	300 kW

**Tabla 2 : Resultados en molienda de escorias**

Se instaló imanes en la banda de alimentación y en la banda de recirculación.

El primer imán no puede sacar todo el hierro de la alimentación eficientemente. Entonces, se debe aceptar que una parte del hierro pase por la quebradora (1 a 2%). Ese hierro es liberado durante la trituración y sacado del circuito por el segundo imán instalado en la banda de recirculación.

Después de tres años de funcionamiento, la misma compañía pidió un segundo Rhodax® de 1000 HP para la producción de agregados de escorias. Esa máquina fue puesta en marcha en Septiembre de 2001. Los resultados se resumen abajo (circuito abierto) :

TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN	20 – 150 mm
PRODUCTO FINAL	60% < 20 mm
CAUDAL	170 t/h
POTENCIA ABSORBIDA	200 kW

**Tabla 3 : Resultados con escorias de alto horno**



**RHODAX® 1000 HP  
ESCORIA DE ALTO HORNO**

### **5.5. Escoria de titanio**

El uso del proceso por clorado se está desarrollando en todo el mundo para la producción de dióxido de titanio ; la escoria de titanio es producida durante la fusión del mineral. La escoria (100% < 100 mm) debe ser molida entonces para producir una fracción de (106-850) µm. La fracción de menos de 106 µm debe ser lo más baja posible.

El Rhodax® ofrece la única posibilidad de controlar perfectamente la energía de molienda y de adaptarla continuamente según las variaciones de las características de la escoria.

Una planta dotada de un Rhodax® 1000 BP está en funcionamiento en Noruega. Para esa aplicación (producción mínima de finos), la velocidad de rotación del Rhodax® es extremadamente baja y la carga circulante es de 600% para reducir la producción de la fracción bajo 106 µm y aumentar el nivel de recuperación.



**RHODAX® 1000 BP  
ESCORIA DE TITANIO**

### 5.6. Industria de los agregados

En los dos últimos años, diversas aplicaciones han sido estudiadas en el campo de la producción de agregados. Dos Rhodax® 1000 BP han sido puestos en marcha en Francia y en Noruega, y sus resultados son muy prometedores. Los principales objetivos son los siguientes :

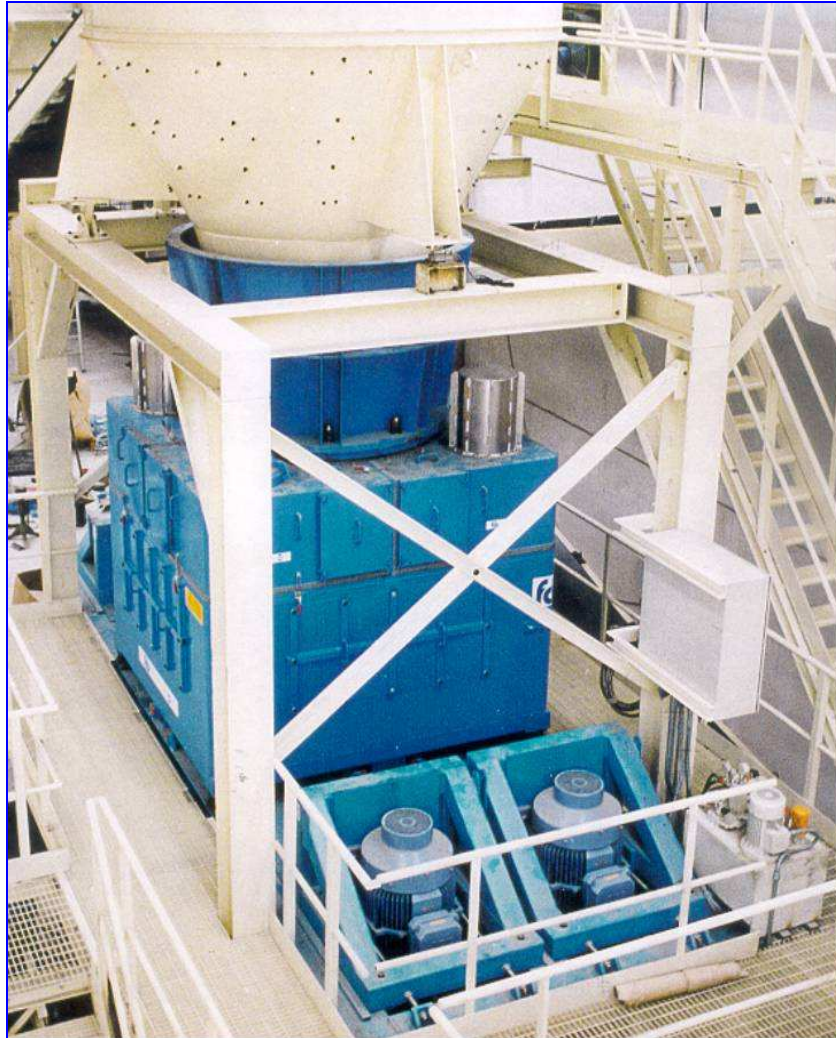
- reducción de los costos operativos (costos de piezas de desgaste)
- mejora de la cubicidad en todas las fracciones
- reducción de las etapas de trituración
- reducción de la cantidad de finos en la fracción 0 - 4 mm.

#### 6 – GAMA DE EQUIPOS RHODAX®

	<b>Diámetro del cono (mm)</b>	<b>Maximo tamaño de alimentación (mm)</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Capacidad(*) (tph)</b>	<b>Entre-hierro nominal (mm)</b>
Rhodax® 300 HP	300	30	30	10	12
Rhodax® 450 HP	450	60	55	30	18
Rhodax® 600 HP	600	90	132	60	24
Rhodax® 1000 BP	1000	150	200	180	40
Rhodax® 1000 HP/MP	1000	150	400/320	240	40

(\*) Las capacidades dadas en esa tabla son caudales pasando por el Rhodax® al triturar material seco, limpio, con una densidad global de 1600 kg/m<sup>3</sup> en circuito cerrado. Los factores que influyen en la capacidad de la quebradora son la dureza, la humedad, la granulometría de la alimentación y del producto final.

## TRITURACIÓN Y MOLIENDA RHODAX® (patentado internacionalmente)



**Fives FCB también suministra los siguientes equipos :**

- Molinos HOROMILL® (Horizontal Roller Mills)
- Molinos de bolas
- Molinos autógenos y semi autógenos
- Separadores dinámicos por aire TSV™
- Hornos, precalentadores y precalcinadores para cemento
- Fábricas de cemento llave en mano