

## Molino de bolas de alta energía $E_{max}$

Retsch

***El  $E_{max}$  es un molino de bolas completamente nuevo, específicamente diseñado para moliendas de gran intensidad. Con una sensacional velocidad de 2.000 rpm no alcanzada hasta ahora por ningún otro molino de bolas del mercado y unos recipientes de molienda de forma especial, su aporte de energía para la trituración es extremadamente alto.***

**E**ste molino combina de forma extraordinaria los mecanismos de impacto y fricción con el movimiento circular de los recipientes de molienda, lo cual permite obtener partículas ultrafinas en tiempos extremadamente cortos. Su novedoso sistema de refrigeración por agua absorbe la energía calorífica excedente, de manera que la muestra no se recalienta, ni siquiera con tiempos de molienda largos.

El molino de sobremesa  $E_{max}$  es, por lo tanto, ideal para trabajar en régimen de operación continua. Como no se requieren pausas de enfriamiento, la duración de la molienda es mucho más corta en el  $E_{max}$  que en los molinos planetarios de bolas convencionales. El enorme aporte de energía a 2.000 rpm en combinación con la refrigeración por agua garantiza condiciones perfectas para la aleación mecánica y moliendas nanométricas.

### Principio de funcionamiento

El  $E_{max}$  combina de forma novedosa y eficaz mecanismos de trituración de diferentes molinos –impacto a alta frecuencia (molino mezclador) y fricción intensa (molino de discos vibra-



**Figura 1.** El molino  $E_{max}$  dispone de dos puestos de molienda.

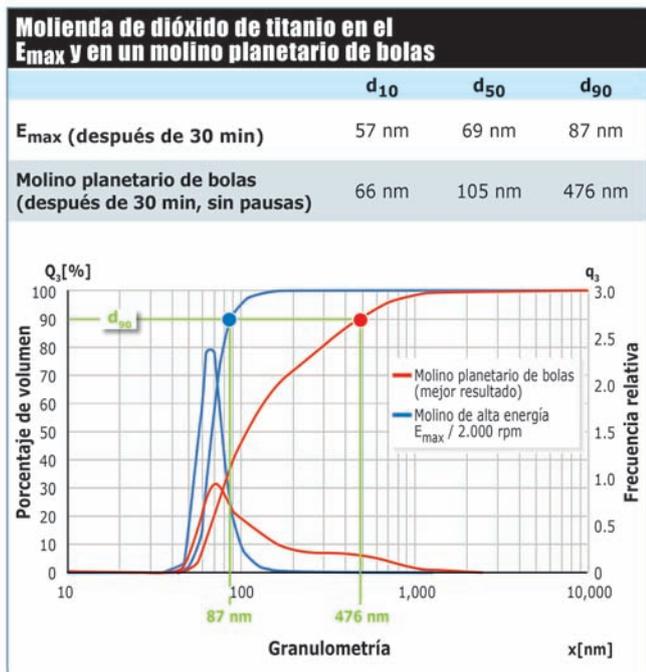


Figura 2. El  $E_{max}$  no solo reduce la muestra más rápido a una granulometría menor, sino que el rango de distribución granulométrica es mucho más estrecho.

torios)– con los movimientos circulares controlados de los recipientes de molienda (molino planetario de bolas). El resultado es una molienda con una eficacia hasta ahora no alcanzada. La forma ovalada y el movimiento de los recipientes desempeñan un papel muy importante en el proceso. Las bases de soporte donde van colocados los recipientes de molienda están fijadas cada una a dos discos que rotan en la misma dirección. De esta manera los recipientes siguen una órbita circular sin cambiar su orientación. Debido a la interacción entre la geometría del recipiente y la mecánica del movimiento, se produce por un lado una fuerte fricción entre las bolas, la muestra y las paredes del recipiente y, por el otro, una gran aceleración que hace que las bolas colisionen fuertemente con las concavidades del recipiente pulverizando la muestra. El resultado es una mezcla mucho mejor de las partículas y granulometrías finales mucho más finas con una distribución granulométrica más estrecha que aquellas hasta ahora obtenidas con molinos de bolas convencionales.

Mayor rapidez, mayor finura...  $E_{max}$

Comparación de la granulometría final y el tiempo de molienda

Las granulometrías finales a escala nanométrica solo pueden alcanzarse con una molienda por vía húmeda. En esta técnica se emplea una gran cantidad de bolas de molienda de  $\varnothing 0,1-3$  mm para generar una gran fricción. La energía generada

por la fricción se ve intensificada en el  $E_{max}$  aún más por la velocidad de 2.000 rpm que este alcanza. En el  $E_{max}$  la energía liberada durante el proceso de molienda es aprovechada por completo gracias a su novedoso sistema de refrigeración por agua, único en el mundo, que elimina rápidamente el calor generado por la fricción. Sin un sistema de refrigeración efectivo, tanto la muestra como el molino se calentarían mucho. En molinos planetarios de bolas similares, es necesario hacer pausas durante el proceso de molienda (aproximadamente el 60% del tiempo total) para que no se recalienten demasiado ni la muestra ni el molino. El  $E_{max}$ , por el contrario, gracias a su sistema eficiente de refrigeración por agua, puede trabajar en régimen de operación continua. En un ensayo se molió una muestra de dióxido de titanio en un molino planetario de bolas de alto rendimiento y en el  $E_{max}$  (recipientes de molienda de óxido de circonio de 50 ml, 110 g de bolas de óxido de circonio de  $\varnothing 0,1$  mm, 10 g de muestra y 15 ml de fosfato de sodio al 1%). Pasados apenas 30 minutos, en el  $E_{max}$  el 90% de la muestra ya había alcanzado una granulometría de unos 87 nm. En este tiempo (sin pausas) la muestra no pudo ser triturada hasta el rango de la nanoescala en el molino planetario de bolas más potente, ya que se alcanzó una granulometría final de solo 476 nm. Esto quiere decir que la granulometría final alcanzada por el  $E_{max}$  fue 5 veces más fina que la del molino planetario de bolas (Figura 2).

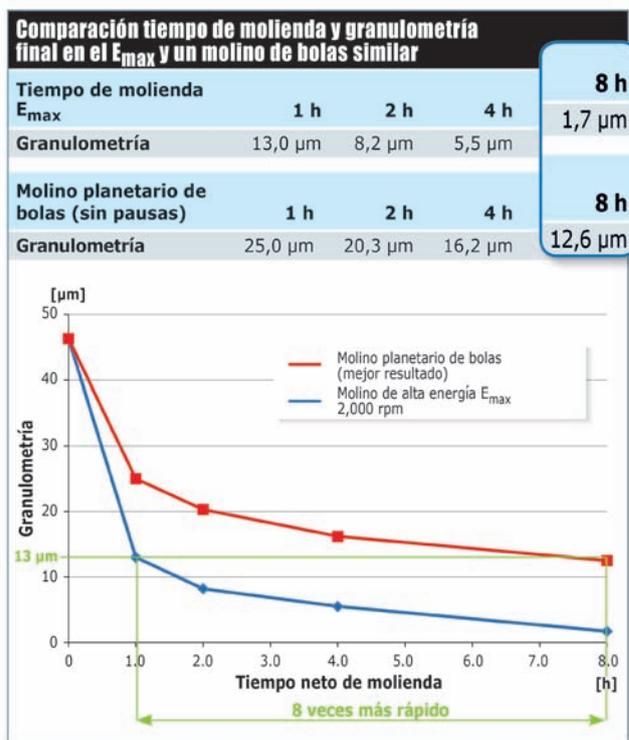


Figura 3. Comparación del rendimiento en la molienda de grafito. El  $E_{max}$  con su sistema de refrigeración por agua, es muy superior al molino sin sistema de refrigeración, tanto en la velocidad como en la granulometría alcanzada.

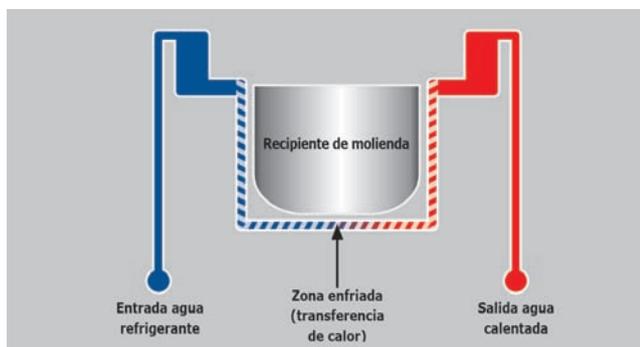


Figura 4. Circuito de refrigeración del  $E_{max}$ .

### Comparación del tiempo de molineta

La superioridad del  $E_{max}$  puede apreciarse más claramente al comparar el tiempo de molineta de ambos molinos. La Figura 3 muestra el resultado obtenido al moler grafito a 2.000 rpm en el  $E_{max}$  (recipientes de molineta de óxido de circonio de 50 ml, 110 g de bolas de óxido de circonio de  $\varnothing$  1 mm, 5 g de muestra y 13 ml de isopropanol) y en el molino planetario de bolas más potente. Al ser el grafito un lubricante, para molerlo se requiere un aporte de energía especialmente alto. Después de 1 hora de molineta, el 90% de la muestra ya había alcanzado en el  $E_{max}$  una granulometría de 13  $\mu$ m, valor que el molino planetario alcanzó al cabo de 8 horas (sin pausas). El rendimiento superior del  $E_{max}$  también se aprecia claramente si nos fijamos en la granulometría alcanzada después de 8 horas de tiempo de molineta neto: en el  $E_{max}$  el valor de  $d_{90}$  es de 1,7  $\mu$ m, mientras que en el otro molino es de 12,6  $\mu$ m. Es decir, 7 veces más fina.

### Sistema de refrigeración muy eficiente

El recipiente de molineta es enfriado en el  $E_{max}$  por un sistema de refrigeración interno. Para reducir todavía más la temperatura, este molino puede conectarse a un recirculador de refrigeración o al grifo de agua. La Figura 4 muestra el circuito de refrigeración del  $E_{max}$ . El enfriamiento del recipiente se realiza a través de la base de soporte. Al ser el agua mejor conductora del calor que el aire, esta refrigeración es muy efectiva. El software del  $E_{max}$  permite realizar la molineta manteniendo un intervalo de temperatura determinado, para lo cual se define una temperatura mínima y una máxima. Si la temperatura máxima es sobrepasada, el molino interrumpe automáticamente el proceso continuándolo sólo cuando se ha llegado de nuevo a la temperatura mínima. Sobre todo para muestras termosensibles o muestras que son molidas en isopropanol, el tipo de refrigeración puede ser crucial. El isopropanol se evapora a 82 °C, haciendo que suba mucho la presión en el recipiente. Al mantener la temperatura por debajo de ese valor, se reduce la presión en el recipiente y, por lo tanto, el esfuerzo

ejercido sobre las juntas. Además, el recipiente puede abrirse más fácilmente una vez finalizado el proceso de molineta.

### Máxima seguridad

Al diseñar el  $E_{max}$  se puso especial atención en que ofreciera máxima seguridad operacional. La posición del recipiente es vigilada automáticamente. Si este no se encuentra correctamente colocado, el molino no puede ponerse en marcha. En este molino no se requieren contrapesos para el recipiente de molineta: cualquier desequilibrio que se produzca en el recipiente es controlado, y si es muy fuerte, el molino se detiene automáticamente indicando el tiempo restante de molineta. Una vez solucionada la falla, puede continuarse con el proceso.

### Conclusión

El  $E_{max}$  abre las puertas a una nueva dimensión en la molineta de alta energía. En este aparato se han combinado de forma extraordinaria los mecanismos de impacto y fricción con una velocidad de 2.000 rpm, siendo el resultado la producción de partículas ultrafinas en tiempo extremadamente corto. Gracias al innovador sistema de refrigeración por agua, el aporte de energía para la trituración es en el  $E_{max}$  mucho mayor que en otros molinos de bolas convencionales, sin que este se recalcante. El sistema de refrigeración por agua permite además reducir significativamente el tiempo de molineta en comparación con molinos de bolas sin sistema de refrigeración, ya que en estos es necesario realizar pausas. Los ejemplos muestran claramente que el  $E_{max}$  alcanza las granulometrías buscadas en una fracción del tiempo necesitado por el otro molino.

[www.retsch.es/emax](http://www.retsch.es/emax)



El E\_max se pudo ver en Expoquimia, concretamente en el stand de Biometa, S.A.